МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

В. Я. Соловов

ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ



МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 683

В. Я. СОЛОВОВ

ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1968

6 Ф2.08
С 60
УДК 621.317.755

Соловов В. Я.

С 60 Осциллографические измерения. М., «Энергия», 1968.

56 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 683).

Описаны практические приемы использования электроннолучевого осциллографа для измерения параметров различных электрических сигналов и характеристик узлов и элементов радиосхем. Подробно рассмотрены измерения как при помощи калибраторов ЭЛО, так и в совокупности ЭЛО со вспомогательной аппаратурой.

Брошюра рассчитана на радиолюбителей и студентов средних учебных заведений.

3-4-5
378-68

6 Ф2.08

ВВЕДЕНИЕ

Электроннолучевой осциллограф (ЭЛО) — весьма распространенный измерительный прибор. Для того чтобы наиболее полно использовать его возможности, необходимо правильно выбрать ЭЛО по его техническим характеристикам применительно к измерительной задаче, прочесть осциллограмму и оценить результаты измерений.

Общеизвестно, что ЭЛО дает возможность наблюдать исследуемый электрический процесс и производить измерения его параметров. Но далеко не все представляют, насколько широки измерительные возможности этого поистине универсального прибора, как с его собственными измерительными устройствами — калибраторами амплитуды и длительности, так и в совокупности со вспомогательной аппаратурой. Все эти возможности мы не сможем рассмотреть, а расскажем лишь о наиболее распространенных. Знакомство с ними подскажет читателю и новые области применения ЭЛО. Поскольку принцип работы ЭЛО заключается в воздействии исследуемого напряжения на электронный луч, а в напряжение могут быть преобразованы очень многие физические величины, то область применения этого прибора может быть значительно расширена.

Напомним читателю основную функциональную схему ЭЛО (рис. 1), которая состоит из следующих основных узлов: электроннолучевой трубки и органов управления, канала вертикального отклонения (канала сигнала или канала Y), канала горизонтального отклонения (канала развертки или канала X), канала яркости (вход Z), двух калибраторов — амплитуды и длительности и узлов питания. Буквой $П$ обозначены переключатели, с помощью которых прибор переключается в различные режимы работы.

Электроннолучевая трубка (ЭЛТ) служит для преобразования исследуемого напряжения в видимое изображение — осциллограмму. ЭЛТ снабжена общими для всех ЭЛО органами регулировки яркости и фокусировки луча и потенциометрами смещения осциллограммы по осям Y и X (органы регулировки на рис. 1 не показаны). ЭЛТ подключена к схеме ЭЛО при помощи переключателей $П_2$, $П'_2$, $П_3$, $П'_3$, $П_4$.

Канал вертикального отклонения (канал Y) обеспечивает регулировку входного напряжения до уровня, необходимого для получения нормального отклонения луча по вертикальной оси экрана ЭЛТ. Канал состоит из входного устройства (вместе с гнездом Y) и широкополосного усилителя напряжения (УВО). Через входное устройство прибор подключается к источнику сигнала; кроме того, сигнал ослабляется и задерживается для того, чтобы

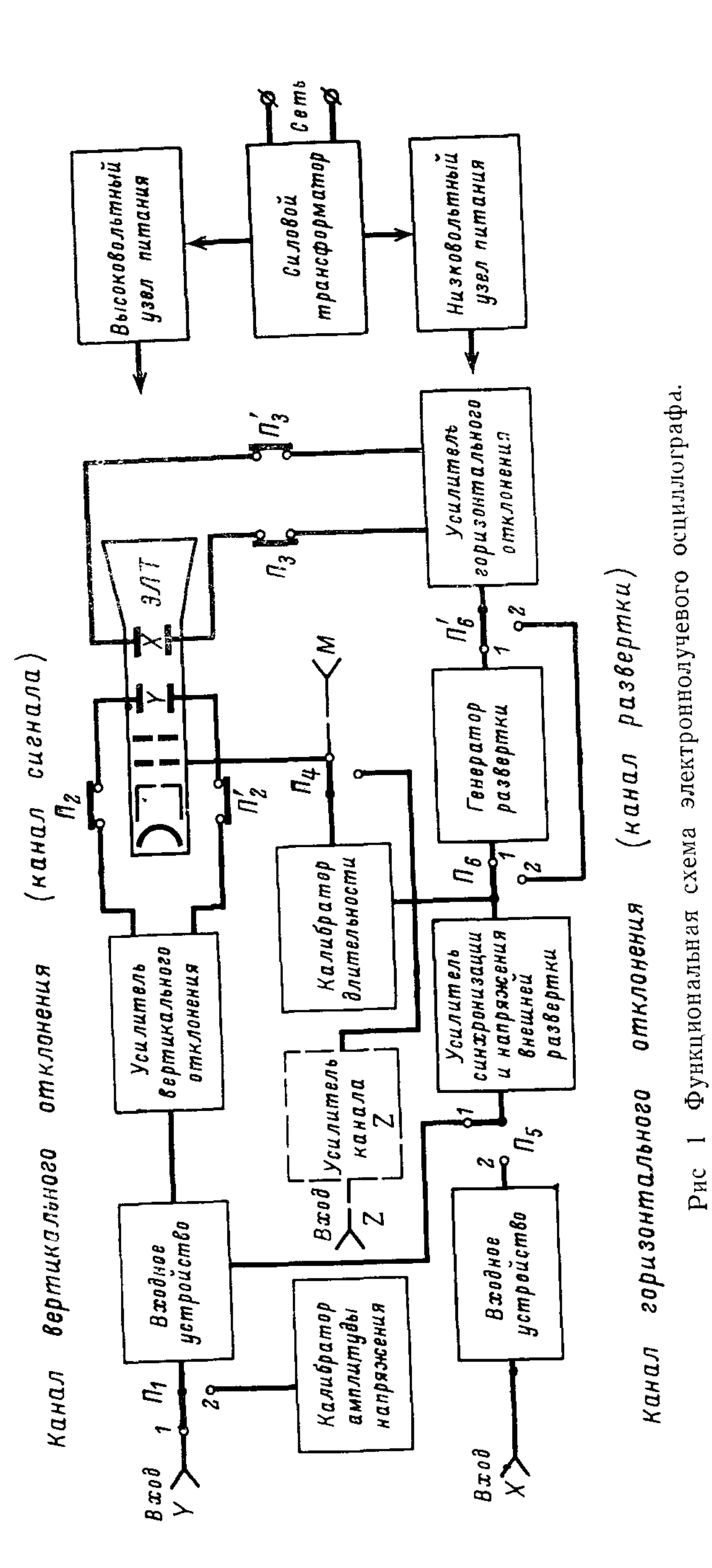


Рис 1 Функциональная схема электроннолучевого осциллографа.

напряжение развертки поступало на отклоняющие пластины с небольшим опережением, что позволяет наблюдать на экране ЭЛТ начало процесса. Усилитель канала доводит исследуемый сигнал до необходимой величины, после чего он подается в противофазе на отклоняющие пластины ЭЛТ.

Канал горизонтального отклонения (канал *X*) вырабатывает развертывающее напряжение (обычно пилообразной формы), усиливает его и синхронизирует (переключатели $П_5$, $П_6$ и $П'_6$ в положении *1*). При необходимости на вход *X* можно подать развертывающее напряжение от внешнего источника; в этом случае генератор развертки ЭЛО отключается (переключатели $П_5$, $П_6$ и $П'_6$ в положении *2*) Входное устройство канала *X* и усилитель напряжения канала горизонтального отклонения аналогичны соответствующим узлам канала *Y* (кроме задержки сигнала во входном устройстве). Усилитель синхронизации и напряжения внешней развертки служит для синхронизации частоты генератора развертки напряжением исследуемой частоты ($П_5$ в положении *1*) или напряжением частоты дополнительного генератора, подключаемого ко входу *X* ($П_5$ в положении *2*), и усиления напряжения синхронизирующего сигнала и изменения его полярности в том случае, когда она не совпадает с полярностью, необходимой для запуска генератора развертки

Калибраторы ЭЛО служат для измерения амплитуды и длительности исследуемого сигнала. Точность этих измерений невысока (погрешность 5—10%).

Кроме линейной развертки, в измерениях часто используют круговую и спиральную развертки.

ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ БЕЗ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Методика измерения — это подробно намеченный план, который включает в себя: изучение схемы, параметры которой надо измерить; предварительную оценку допустимой погрешности; выбор необходимой измерительной аппаратуры, ознакомление с ее техническими возможностями и порядком измерений; измерения и оценку полученных результатов.

При исследовании формы напряжения важно, чтобы сам ЭЛО не вносил искажений. Это во многом зависит от правильного выбора типа прибора [Л. 1].

Для этого необходимо знать основные характеристики ЭЛО:

1) величину диаметра экрана ЭЛТ, от которого зависит размер осциллограммы;

2) чувствительность канала вертикального отклонения, выражаемую в *мм/в*; она характеризует усиление в канале *Y* и дает представление о том, какая амплитуда получится на экране ЭЛТ, если на вход *Y* подать определенное напряжение Кроме того, в технических данных прибора обычно указывают чувствительность канала при подаче сигнала непосредственно на вертикально-отклоняющие пластины ЭЛТ. Чувствительность ЭЛО должна быть такой, чтобы размер изображения на экране был удобен для наблюдения.

Например, надо исследовать синусоидальный сигнал с частотой 10 *кгц* и амплитудой 10 *мв*. Для этого мы располагаем ЭЛО типов С1-1 и С1-4 (диаметр экранов ЭЛТ равен 125 *мм*). Чувствительность ЭЛО С1-1 равна 2,5 *мм/мв*, вследствие чего на экране ЭЛТ мы получим осциллограмму с амплитудой 25 *мм* (размах 50 *мм*); для ЭЛО С1-4 (чувствительность 0,33 *мм/мв*) амплитуда осциллограммы 3,3 *мм* (размах около 7 *мм*), следовательно, предпочтение нужно отдать прибору типа С1-1;

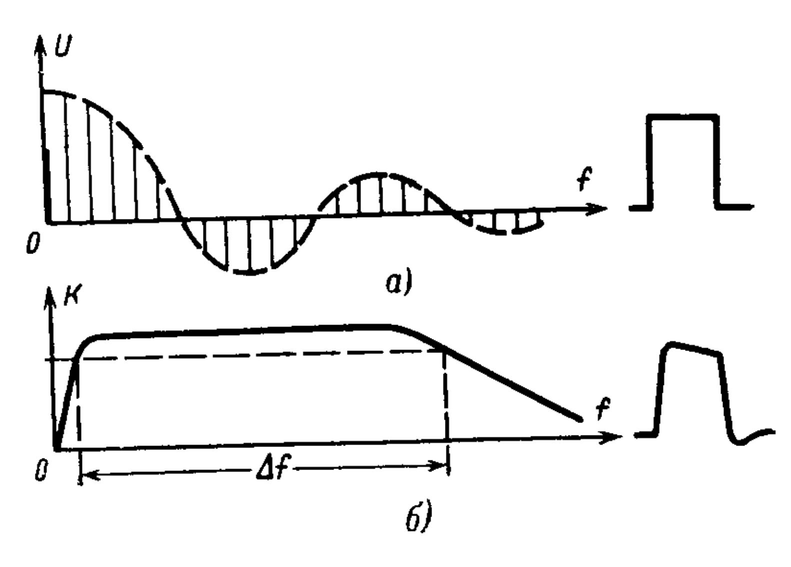


Рис 2. Влияние полосы пропускания канала вертикального отклонения ЭЛО на форму исследуемого сигнала.

а — входной сигнал и его спектр; *б* — АЧХ канала вертикального отклонения и форма выходного сигнала.

3) полосу пропускания канала вертикального отклонения, характеризующую диапазон частот, проходящих через канал с малым ослаблением, т. е. амплитудно-частотную характеристику (АЧХ). Это особенно важно при исследовании несинусоидальных и импульсных сигналов, так как при неправильно выбранной АЧХ они будут искажены. Известно, что спектр несинусоидального периодического колебания состоит из основной и ряда высших гармонических составляющих. Если полоса пропускания канала недостаточно широка (а она зависит прежде всего от АЧХ усилителя), то различные составляющие спектра усиливаются неодинаково, что и вызывает отклонение формы осциллограммы от формы входного сигнала (рис. 2) Точность воспроизведения фронта импульса в этом случае будет невысокой

Ширина полосы пропускания канала Δf (для прямоугольного импульса длительностью τ) выбирается из соотношения $\Delta f=(1\div 2)/\tau$. Верхняя граничная частота полосы $f_в$ должна быть не менее $f_в=0{,}35/\tau_{ф.а}$, иначе фронт импульса будет искажен ($\tau_{ф.а}$ — активная длительность фронта между уровнями 0,1 и 0,9 от амплитуды); напомним читателю, что $\Delta f=f_в-f_н\approx f_в$, где $f_н$ — нижняя частота полосы пропускания;

4) схему входа (открытый или закрытый), входное сопротивление и входную емкость канала *Y*. Закрытый вход (на входе канала включен конденсатор) исключает исследование сигналов с постоянным напряжением; большое входное сопротивление и малая входная емкость снижают влияние ЭЛО на источник сигнала;

5) диапазон частот непрерывной развертки и диапазон длительностей ждущей развертки Если диапазон частот непрерывной развертки ЭЛО типа С1-1 2 *гц* — 50 *кгц*, то с его помощью можно исследовать процессы с периодом от 0,5 *сек* до 20 *мксек*. Диапазон длительностей ждущей развертки ЭЛО типа С1-5 составляет 1—3 000 *мксек*, поэтому с его помощью можно исследовать процессы, продолжительность которых находится в этих же пределах;

6) цену меток калибратора длительности и пределы измерения напряжения калибратором амплитуды, а также величины их погрешностей, по которым можно оценить пределы и точность измерения соответствующих параметров сигнала

ЭЛО подключается к источнику сигнала кабелями, входящими в его комплект Низкочастотные процессы можно исследовать с помощью самодельных неэкранированных проводников; но при этом могут появиться искажения осциллограммы, если частота сигнала достаточно велика или сигнал импульсный

Иногда для уменьшения влияния ЭЛО на источник сигнала его подключают к прибору через вспомогательный катодный повторитель, который незначительно влияет на этот источник и имеет равномерную АЧХ в широком диапазоне частот.

Некоторые типы ЭЛО имеют одно из положений переключателя входного аттенюатора, рассчитанное на подключение к прибору источника сигнала через радиочастотный коаксиальный кабель Например, к ЭЛО типа С1 4 может быть подключен кабель с волновым сопротивлением 75 *ом* (типов РК-3, РК 4, РК-60 и т д), а к ЭЛО типа С1-5 — с волновым сопротивлением 50 *ом* (типов РК 19, РК-29, РК 48 и т д) В этом положении переключателя аттенюатора входное сопротивление ЭЛО равно волновому сопротивлению радиочастотного кабеля

ВИЗУАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ОСЦИЛЛОГРАММ

Для правильного исследования процесса необходимо получить на экране ЭЛТ четкую и неподвижную осциллограмму Четкость достигается регулировкой яркости и фокусировки луча и при необходимости — защитой экрана ЭЛТ от посторонних источников света, а неподвижность осциллограммы — регулировкой частоты генератора развертки и его синхронизацией, т е принуждением одного генератора (в данном случае генератор развертки) работать с частотой, равной или кратной частоте другого генератора, которым может быть как источник исследуемого сигнала (внутренняя синхронизация), так и источник постороннего сигнала (внешняя синхронизация) В отдельных типах ЭЛО (например, С1-5) предусмотрена синхронизация частотой сетевого напряжения, т е частотой 50 *гц*, что очень удобно при исследовании процессов в выпрямителях, а также процессов, частота которых кратна частоте 50 *гц* Таким образом, для получения устойчивой осциллограммы (рис 3) необходимо выполнение условия $T_р=nT_с$ или $f_р=\frac{1}{n}f_с$, $n=1,2,3,\ldots$, где $T_р$ и $T_с$ — периоды напряжения генератора развертки и исследуемого сигнала, $f_р$ и $f_с$ — соответствующие им частоты При нарушении этого равенства, т е в случае, если n не целое число, осциллограмма перемещается по экрану трубки

Чтобы получить целое значение n, необходимо синхронизировать генератор развертки, частота которого, как правило, нестабильна. Поясним вкратце процесс синхронизации генератора сигналом синусоидальной формы (рис. 4). До момента t_1 генератор развертки не синхронизировался и вырабатывал напряжение с периодом $T_р = T_1$. В момент t_2 было подано синусоидальное синхронизирующее напряжение, которое изменило период напряжения развертки сначала до величины T_2, а затем — до величины T_3 и T_4. Начиная с момента t_4 и дальше, генератор развертки начал работать с частотой сигнала $1/T_с$. Для того чтобы синхронизация могла осу-

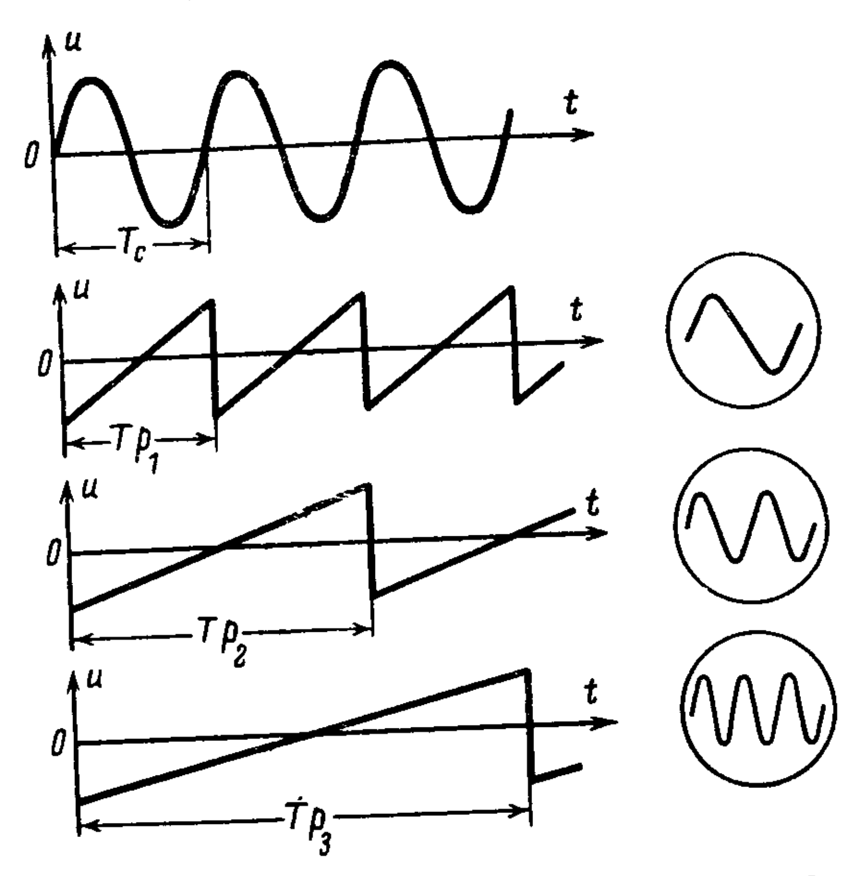


Рис. 3. Получение осциллограмм с различными периодами развертки.

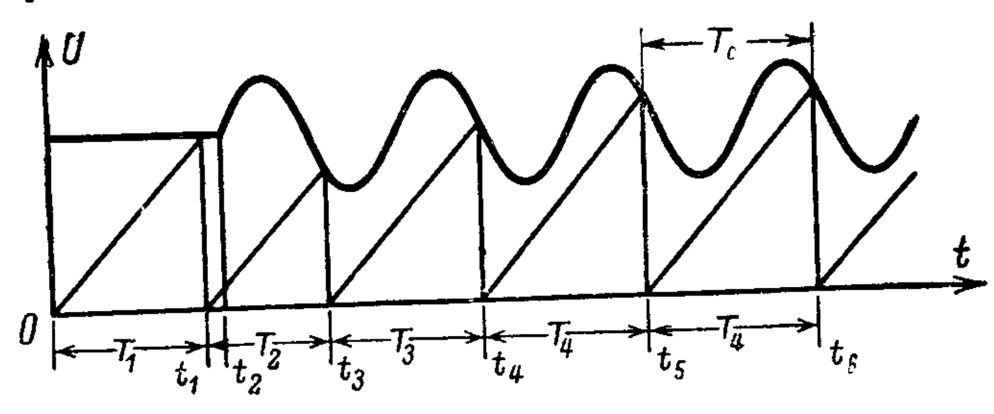


Рис. 4. Процесс синхронизации частоты генератора развертки ЭЛО.

ществляться, необходимо до наступления синхронизации обеспечить приблизительное равенство $T_р \approx T_с$. Получению устойчивой осциллограммы способствует и регулировка амплитуды напряжения развертки.

Непрерывную развертку используют преимущественно для исследования гармонических сигналов. При исследовании импульсных сигналов развертывающее напряжение должно быть «ждущим», т. е. вырабатываться под воздействием исследуемого сигнала. Непрерывную развертку в этом случае применять нельзя (рис. 5) [Л 1, 2]. Для изучения формы импульсного сигнала необходимо, чтобы его осциллограмма занимала бо́льшую часть экрана ЭЛТ. Весьма часто длительность импульса $\tau_и$ в несколько десятков раз меньше периода $T_с$, поэтому при $T_{р1} = T_с$ (рис 5,*б*) осциллограмма импульса занимает незначительную часть развертки и будет выглядеть на экране ЭЛТ очень узкой вертикальной чертой Если уменьшить период развертки так, чтобы бо́льшая часть периода развертки приходилась на длительность сигнала $\tau_и$ (рис. 5,*в*), то импульс на экране ЭЛТ будет виден гораздо лучше. Но этот режим также не годится для исследования импульсных сигналов, так как из нескольких десятков периодов развертки только один дает изображение импульса на экране ЭЛТ, а остальные бесполезно прочерчивают горизонтальную линию, вследствие чего осциллограмма сигнала будет плохо видна И лишь режим ждущей развертки (рис. 5,*г*) обеспечивает необходимые условия для изучения формы

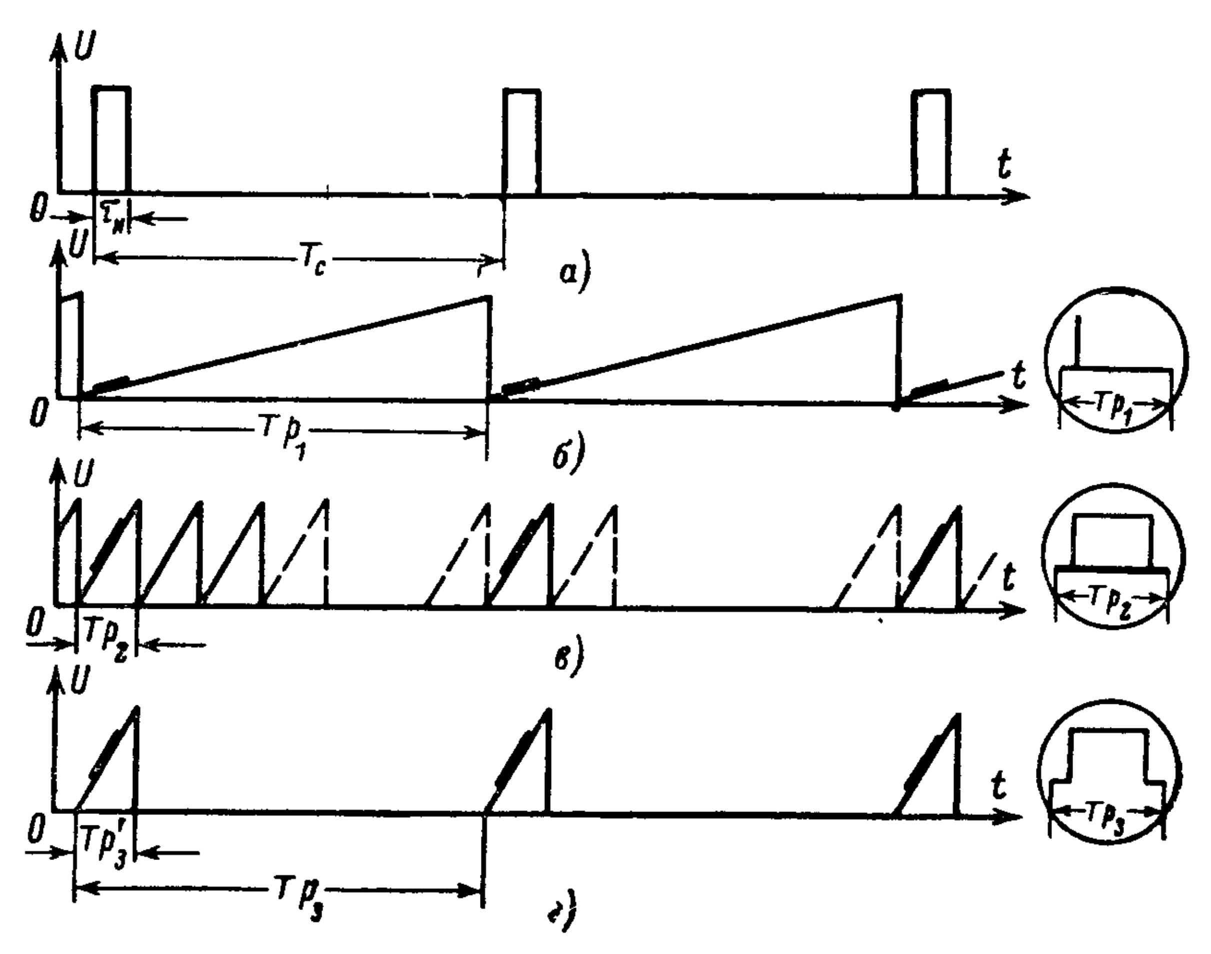


Рис. 5. Получение осциллограммы импульсного сигнала.

сигнала, так как для его развертки используется лишь полезная часть периода $T_{рз}$, равная интервалу $T'_{рз}$.

Некоторые ЭЛО во входном устройстве канала Y имеют линию задержки, что позволяет исследовать фронт импульса, так как он задержан относительно начала развертки (рис. 5).

Для тщательного изучения формы фронта импульсного сигнала период развертки можно подобрать таким, чтобы на всем экране ЭЛТ воспроизвести лишь начальную часть импульса (рис. 6).

Рис. 6. Исследование фронта импульсного сигнала: *а* — исследуемый сигнал; *б* — пилообразный импульс ждущей развертки; *в* — полученная осциллограмма.

При измерениях с помощью ЭЛО могут произойти искажения осциллограмм, причины которых необходимо знать. Основные из них (рис. 7) [Л. 1, 4]:

1) на экране ЭЛТ наблюдается несимметричная синусоида (рис. 7,*а*), хотя на вход ЭЛО подан гармонический сигнал. Это происходит из-за большой протяженности обратного хода луча. Устраняется это искажение увеличением длительности периода развертки в 2—3 раза. При этом на экране наблюдаются 2—3 периода исследуемого сигнала, а искажается лишь последний период сигнала осциллограммы.;

2) расфокусировка луча ЭЛТ — линия, вычерчивающая осциллограмму, выражена нерезко. Это может быть обусловлено нестабильностью источника питания ЭЛТ, исправность которого необходимо проверить;

3) огибающая изображение сигнала дугообразно изогнута (рис. 7,*б*) — в усилителе вертикального отклонения появился фон сетевого напряжения, т. е. фон частоты 50 *гц*;

4) не наблюдается фронт импульса (рис. 7,*в*): напряжения развертки и сигнала поступают на пластины ЭЛТ одновременно (сравните с рис. 5). Нужно взять ЭЛО с задержкой входного сигнала;

5) фронт и спад прямоугольного импульса получаются слишком пологими (рис. 7,*г*). Причина этого — недостаточно широкая полоса пропускания канала Y. Необходимо использовать другой ЭЛО, с более широкой полосой пропускания;

6) вершина импульса скошена (рис. 7,*д*). Это искажение происходит потому, что канал Y не пропускает или недостаточно усиливает низкочастотные составляющие спектра сигнала. Такие искажения наиболее часто происходят при исследовании импульсов большой длительности. В этом случае надо применить ЭЛО, не вносящий таких искажений (например, ЭЛО типа С1-4);

7) осциллограмма импульса имеет неестественно ровную вершину (рис. 7,*е*). Причиной этого может быть ограничение в канале Y из-за большого уровня входного сигнала. Уменьшив этот уровень, ограничение можно устранить.

При исследовании однократных или редко повторяющихся процессов, а также сигналов, требующих малой частоты развертки ($5 \div 10$ *гц*), необходимо выбирать ЭЛТ с длительным послесвече-

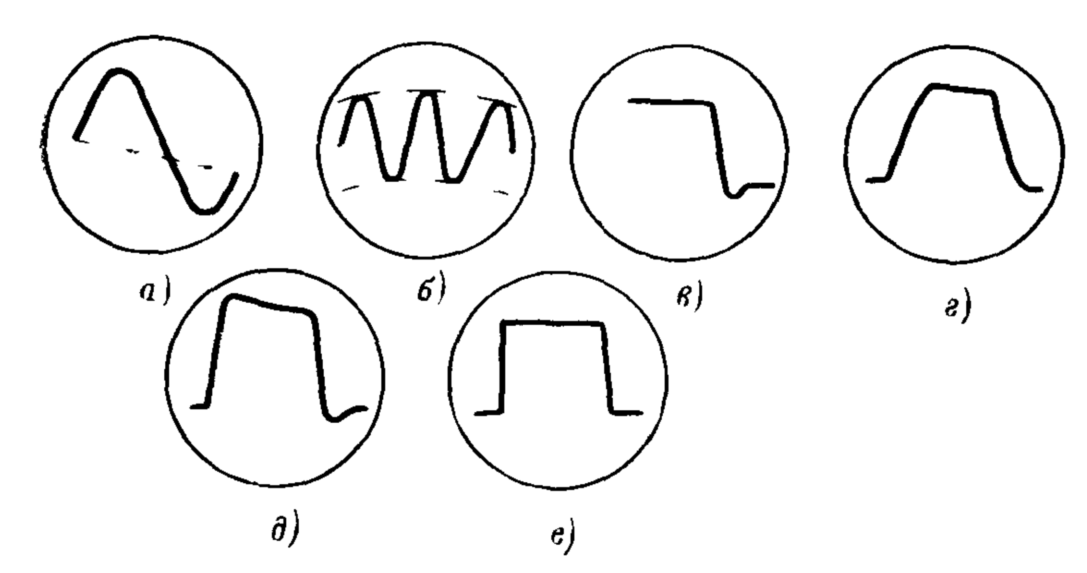


Рис. 7. Искажения сигналов, вносимые ЭЛО.

нием, так как на экране обычной ЭЛТ осциллограмма будет мерцать. Иногда для регистрации осциллограмм таких процессов используют фотоаппарат.

ИЗМЕРЕНИЕ АМПЛИТУД И МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛОВ

Положение светящегося пятна на экране ЭЛТ пропорционально чувствительности ЭЛТ, величине напряжения измеряемого сигнала и коэффициенту усиления в канале ЭЛО. Это замечание справедливо для обоих каналов осциллографа, но, поскольку исследуемый сигнал подается в канал Y, в дальнейшем речь будет идти только об этом канале.

Между размерами осциллограммы, величиной входного сигнала и чувствительностью ЭЛО существует зависимость

$$l = uh_y,$$

где l — размер осциллограммы по вертикали, *мм*;
u — мгновенное значение напряжения входного сигнала, *в*;
h_y — чувствительность канала Y, *мм/в*.

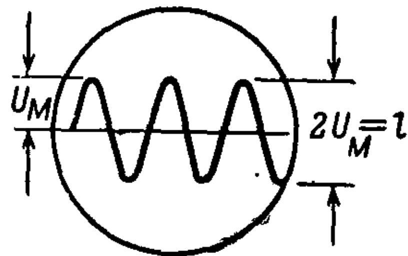


Рис. 8. Осциллограмма гармонического сигнала.

Чтобы измерить напряжение входного синусоидального сигнала (рис. 8), надо определить $l = 2U_М$ по масштабной сетке и вычислить величину амплитуды входного сигнала $U_М$ по указанному в технических характеристиках осциллографа значению h_y или заменить исследуемый сигнал калиброванным напряжением, отклоняющим светящееся пятно на ту же высоту l, т. е. сравнить измеряемое напряжение с образцовым.

Рассмотрим пример измерения напряжения гармонического сигнала с помощью ЭЛО типа С1-1 который имеет чувствительность канала Y $h_y = 2{,}5$ *мм/мв*, а аттенюатор входного устройства ослабляет входной сигнал в 10 раз; размер осциллограммы при этом $l = 50$ *мм*.

Из основного соотношения получим:

$$u=\frac{l}{h_y}=\frac{50}{2,5}=20\ мв.$$

Поскольку входной сигнал был ослаблен в 10 раз, то результат нужно увеличить в 10 раз, т. е. $u=2U_М=200$ *мв*. Амплитуда исследуемого напряжения будет $U_М=100$ *мв*, а его действующее значение $U=\frac{U_М}{\sqrt{2}}=70,7$ *мв*.

С учетом этого выражения для определения амплитудного и действующего значений напряжения синусоидальной формы имеют вид:

$$U_М=\frac{l}{2h_yK};\quad U=\frac{l}{2\sqrt{2}h_yK},$$

где K — коэффициент ослабления аттенюатора ЭЛО.

Необходимо обратить внимание на размерность величины h_y, так как в ряде случаев она приводится в сантиметрах на вольт, миллиметрах на вольт и в вольтах на миллиметр.

Этот метод измерения применим и для определения **мгновенного** значения напряжения. Для этого исследуемую осциллограмму нужно разместить симметрично на оси абсцисс и отсчитывать от нее мгновенное значение сигнала, причем уменьшать в 2 раза отсчет не следует.

Исследуемый сигнал можно подать непосредственно на отклоняющие пластины ЭЛТ через разделительные конденсаторы, так как источник сигнала обычно имеет несимметричный выход и при подаче измеряемого напряжения на пластины ЭЛТ без разделительных конденсаторов одна из них может оказаться подключенной к корпусу. Это может вывести из строя источник питания ЭЛО. Кроме того, поскольку чувствительность ЭЛТ невелика (около нескольких десятых долей миллиметров на вольт), то измеряемый сигнал должен быть достаточно большим — сотни вольт.

Определим максимальное напряжение, которое можно измерить по этому методу, используя ЭЛО типа С1-5 (или ЭО-6М), в котором установлена ЭЛТ типа 8ЛО29 (рабочий диаметр $d=70$ *мм*, чувствительность вертикально отклоняющих пластин $h_y=0,23$ *мм/в*):

$$U_М=\frac{d}{2h_y}=\frac{70}{2\cdot 0,23}\approx 150\ в.$$

Наличие калибратора амплитуды во многих типах ЭЛО дополняет этот вариант измерения, поэтому наибольшее распространение получило измерение напряжений методом сравнения при помощи калибратора (рис. 1).

В положении *1* переключателя $П_1$ на ЭЛО подается исследуемый сигнал и на экране ЭЛТ отмечается размер осциллограммы l. Затем переключатель ставят в положение *2*, и, не изменяя усиления канала, на ЭЛТ подают регулируемое н известное по величине напряжение калибратора, которое отклоняет луч на ту же величину l. Это напряжение отсчитывается либо по градуированному

в вольтах потенциометру калибратора, либо по встроенному в калибратор вольтметру.

Рассмотрим калибратор амплитуды ЭЛО типов С1-5 и ЭО-6М, в основу которого положена мостовая схема (рис. 9), к одной диагонали которой приложено напряжение сети, а со второй снимается калиброванное по величине напряжение. В противоположные плечи моста включены резисторы. R_1 и R_2 и лампочки от карманного фонаря $Л_1$ и $Л_2$, представляющие собой нелинейные сопротивления, стабилизирующие калиброванное напряжение. Благодаря им изменения напряжения сети на $\pm 10\%$ незначительно сказываются на напряжении калибратора (± 1—2%). Потенциометр R_4 служит для под-

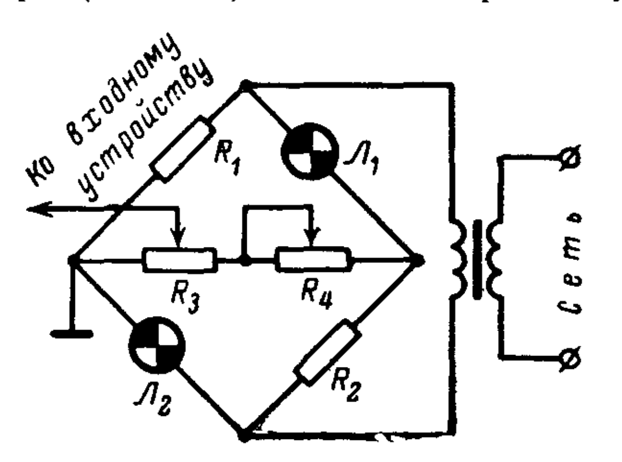


Рис. 9. Схема калибратора амплитуды ЭЛО.

бора сопротивления этой диагонали, а с потенциометра R_3 калиброванный сигнал подается на вход усилителя канала вертикального отклонения.

Измерять напряжение сигнала можно, **калибруя масштабную сетку** ЭЛО, т. е. определяя цену деления сетки в вольтах на миллиметр. В этом случае сама сетка становится шкалой, по которой можно измерять напряжение. Таким способом измеряется напряжение осциллографом типа С1-4 (ЭНО-1): на вход Y подают напряжение с выхода калибратора амплитуды, затем регулируют усиление канала Y так, чтобы луч на экране ЭЛТ отклонился на удобное для измерений деление шкалы. После этого напряжение калибратора отключают и, не трогая ручек регулировки канала Y, подают исследуемый сигнал, напряжение которого отсчитывается непосредственно по масштабной сетке.

Последовательность импульсов одной полярности содержит постоянную составляющую (рис. 10,*а*), которая не попадает на вход усилителя, если ЭЛО имеет закрытую схему входа. Тем не менее на экране ЭЛТ получается полная амплитуда исследуемого сигнала. Как это происходит?

Ко входной цепи ЭЛО с закрытым входом (рис. 11) подключен генератор исследуемого сигнала, который можно представить как два источника: переменного напряжения $U'_М$ и постоянного напряжения U_0. Источник постоянного напряжения заряжает конденсатор C до напряженяи U_0 противоположной полярности, вследствие чего постоянная составляющая измеряемого напряжения будет скомпенсирована. В результате этого импульсный сигнал (рис. 10,*а*) примет вид (рис. 10,*б*), т. е. превратится в сигнал без постоянной

составляющей. Поскольку на экране ЭЛТ нулевой уровень не отмечается, то изображенный на рис. 10,*б* переход импульса через нуль не виден. На экране будет полная амплитуда $U_М$ исследуемого напряжения.

Известно, что соотношение $U_М = \sqrt{2}U$, где U — действующее значение, справедливо лишь для сигналов синусоидальной формы.

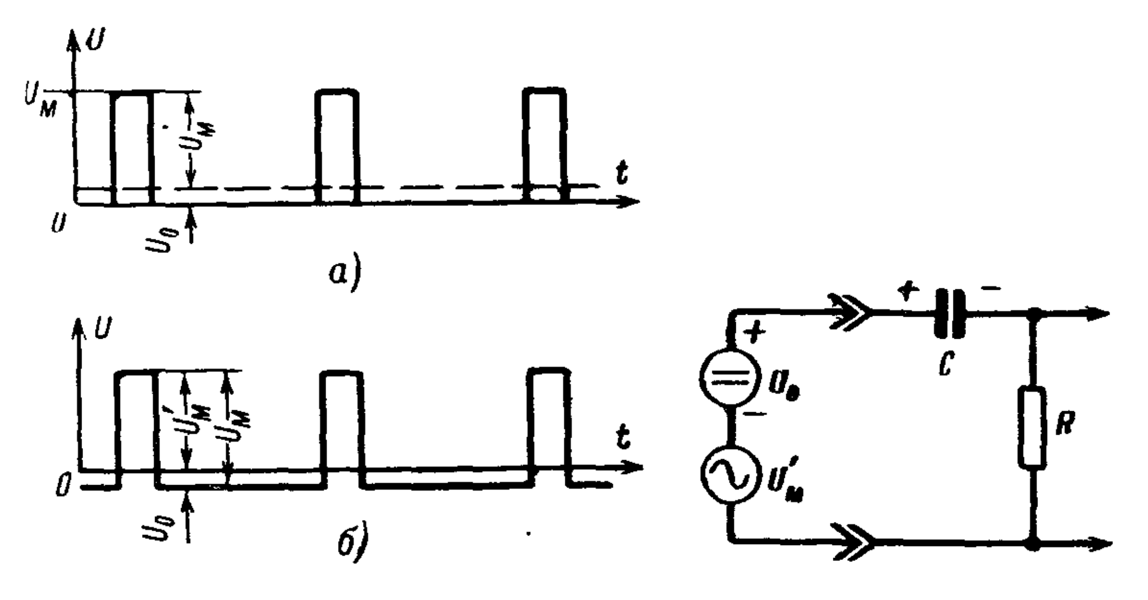


Рис. 10. Исследование сигнала с постоянной составляющей:
а — сигнал на входе ЭЛО; б — сигнал на ЭЛТ.

Рис. 11. Эквивалентная схема генератора импульсного напряжения.

Однако, используя калибратор напряжения ЭЛО, можно измерять по одной и той же шкале как гармонические, так и импульсные напряжения. Объяснить это можно, рассмотрев рис. 12. Очевидно, что амплитуда импульса $U_М$ равна удвоенной амплитуде гармонического сигнала $U'_М$. Градуируя шкалу калибратора в амплитудных значениях синусоидального напряжения, по этой же шкале можно отсчитывать и амплитудное значение сигналов несинусоидальной формы. Если же получен отсчет по шкале действующего значения (U), то амплитуду негармонического сигнала $U_М$ можно найти из соотношения $U_М = 2U'_М = 2\sqrt{2}U$. Не нужно лишь забывать, что отсчет U соответствует только гармоническому сигналу.

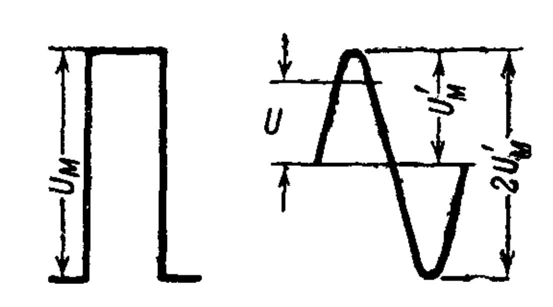


Рис. 12. Сопоставление амплитуд гармонического и прямоугольного напряжений.

При всей наглядности и относительной простоте измерения напряжения с помощью калибратора пользоваться им следует в исключительных случаях, отдавая предпочтение ламповому вольтметру, потому что погрешность измерения напряжений калибратором ЭЛО велика ($\pm 10\%$) Причин такой большой погрешности много: параллакс, происходящий из-за того, что экран ЭЛТ и масштабная сетка расположены в разных плоскостях, неточность

номиналов элементов входного делителя канала, потенциометров самого калибратора, конечный размер пятна электронного луча на экране ЭЛТ, кривизна экрана ЭЛТ и ряд других.

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ

Для измерения этих параметров (длительности импульса, его фронта, спада и периода следования) используются специальные метки, которые можно получить, модулируя электронный луч ЭЛТ по яркости гармоническим сигналом или сигналом прямоугольной формы.

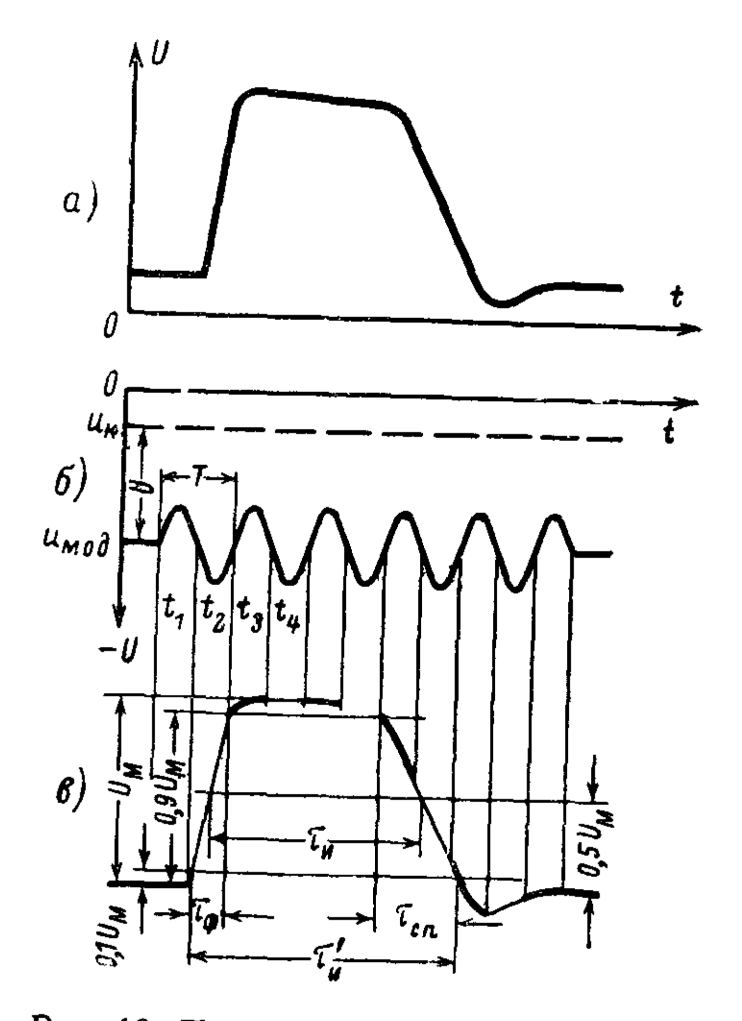


Рис. 13. Получение меток длительности.
а — исследуемый сигнал; б — сигнал калибратора длительности, поданный на модулятор ЭЛТ; в — осциллограмма сигнала с метками.

Для того чтобы измерить длительность импульса (рис. 13,*а*), в момент t_1 на модулятор ЭЛТ подают гармонический сигнал определенной частоты (рис. 13,*б*), с амплитудой, достаточной для запирания электронного луча. При положительной полуволне модулирующего сигнала в промежуток времени $t_1 \div t_2$ напряжение модулятора возрастает, напряжение U уменьшается, вследствие чего увеличивается скорость движения электронов и осциллограмма светится ярче. При отрицательной полуволне напряжение модулятора снижается, а напряжение U повышается, запирая электронный луч. Вся осциллограмма процесса будет изображена пунктирной линией (рис. 13,*в*).

Поскольку частота модулирующего напряжения f известна, то из соотношения $f=1/T$ можно легко установить и единицу измерения времени, т. е определить цену метки — временной интервал $T=t_3-t_1$. Например, если частота модулирующего сигнала $f=$ $=1$ *Мгц,* то период T (или цена одной метки) равен 1 *мксек.*

Такую же пунктирную осциллограмму можно получить, если модулирующее напряжение подать на катод ЭЛТ. Разница будет

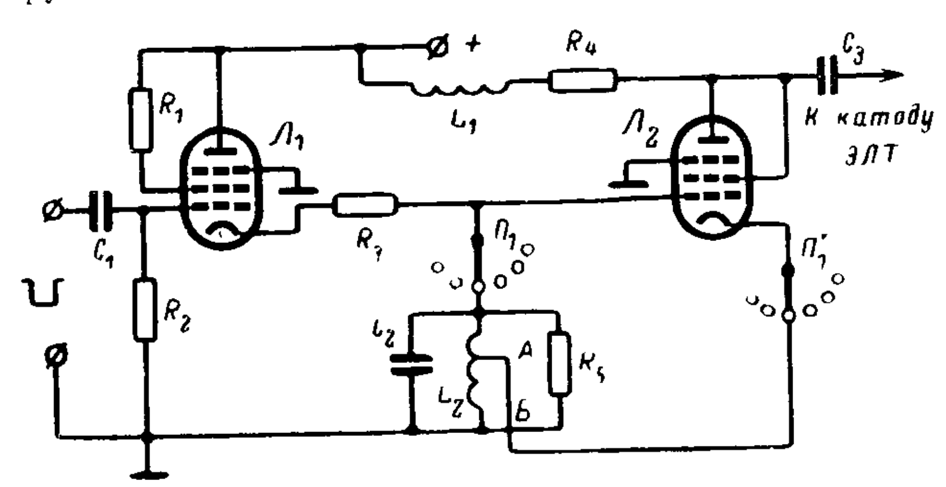


Рис. 14. Принципиальная схема генератора меток.

состоять лишь в том, что положительная полуволна даст темную часть метки, а отрицательная — светлую.

В схемах ЭЛО модулирующее напряжение получают с помощью калибраторов длительности.

Основным каскадом калибратора длительности является генератор гармонических колебаний с контуром ударного возбуждения или цепочкой RC. Первый тип калибратора (рис. 14) распространен больше, поэтому вкратце рассмотрим его работу.

В катодную цепь лампы $Л_1$ включен колебательный контур (на
рисунке показан один контур, хотя их число может быть любое).
Лампа $Л_1$ нормально открыта, через нее и катушку L_2 течет катод-
ный ток i_0, колебания в контуре отсутствуют. Как только вклю-
чается генератор ждущей развертки, на сетку лампы $Л_1$ поступает
запирающий импульс отрицательной полярности. Катодный ток
резко прекращается и в контуре возникают гармонические колеба-
ния, частота которых определяется параметрами контура. Время
существования этих колебаний τ определяется длительностью им-
пульса ждущей развертки. Как только этот импульс закончится,
лампа $Л_1$ вновь откроется и колебания в контуре сорвутся из-за
того, что в катодной цепи лампы $Л_1$ возникнет напряжение отрица-
тельной обратной связи, действие которой равнозначно шунтирова-
нию контура лампы $Л_1$ эквивалентным сопротивлением $R=1/S$,
где S — крутизна лампы Таким образом, лампа $Л_1$ выполняет роль
электронного ключа, вызывающего и прекращающего колебания
в контуре

Лампа $Л_2$ способствует тому, чтобы генерируемые колебания
в течение времени τ не затухали. К ее сетке приложено напряже-
ние, изменяющееся синфазно с напряжением на контуре и с на-
пряжением между точками $АБ$ катушки индуктивности, т. е. обеспе-
чивается положительная обратная связь. Поддержанию постоянства
амплитуды колебаний способствует и низкая добротность контура,

зашунтированного резистором R_5. После усиления лампой $Л_2$ колебания подаются на модулятор или катод ЭЛТ, вызывая модуляцию луча по яркости.

В некоторых типах ЭЛО есть отдельный «канал Z» (канал яркости), который служит для калибровки длительности с помощью внешнего источника переменного напряжения. После усиления в канале Z это напряжение подается на модулятор или катод ЭЛТ. Такой канал используется, например, в ЭЛО типа С1-3 (ИО-4) В некоторых осциллографах (С1-1) калибратора длительности нет и калибровочное напряжение подается от внешнего источника через гнездо M непосредственно на модулятор ЭЛТ (рис. 1).

Калибратором длительности можно измерить период гармонического сигнала, длительности фронта и спада импульсов и период их следования. У некоторых типов ЭЛО калибратор длительности работает лишь в ждущем режиме генератора развертки.

Измерение временных характеристик периодических сигналов производится так: включив калибратор длительности и выбрав оптимальную цену метки, достаточно удобную для их подсчета и обеспечивающую надлежащую точность измерения, считают их число, приходящееся на измеряемый временной интервал.

Чтобы правильно оценить результат измерений, надо знать их погрешность, которая прежде всего определяется выбором цены метки и правильным определением границ измеряемых участков сигнала. Подсчет числа меток должен производиться тщательно, для чего необходимо хорошо сфокусировать луч и подобрать нужную яркость свечения осциллограммы. Наконец, точность измерения зависит от погрешности самого калибратора, т. е. от нестабильности частоты генерируемых им колебаний. Суммарная погрешность измерения длительности невысока ($\pm 10\%$).

Неисправность или отсутствие калибратора длительности не исключают возможности измерения временных интервалов: можно воспользоваться параметрами развертывающего напряжения, проводя измерения с помощью масштабной сетки с миллиметровыми делениями. В этом случае генератор развертки работает в непрерывном режиме с частотой $f_р$, на экране ЭЛТ получают горизонтальную линию и, регулируя усиление канала горизонтального отклонения, устанавливают ее равной какому-либо числу делений масштабной сетки $l_р$, например $f_р=5$ *кгц,* $l_р=50$ *мм.* В таком случае период развертки

$$T_р=\frac{1}{f_р}=\frac{1}{5\cdot 10^3}=0{,}2\ мсек=200\ мксек,$$

а цена деления масштабной сетки Δl составляет:

$$\Delta l=\frac{T_р}{l_р}=\frac{200}{50}=4\ мксек/мм.$$

Теперь, не меняя регулировок развертки, на ЭЛО подают исследуемый сигнал и, пользуясь полученным масштабом, находят его временные параметры.

Применить этот метод при работе генератора развертки в ждущем режиме удается не всегда, так как линия развертки превышает диаметр экрана ЭЛТ, что исключает измерение $l_р$. Если же $l_р$ мож-

но получить в пределах экрана, то масштабную сетку калибруют по известной скорости ждущей развертки, находя отношение временного интервала к длине линии развертки, например, 1 *мксек/см*. Погрешность измерения в этом случае определяется точностью градуировки масштабной сетки и правильностью ее установки, погрешностью отсчета измеряемых интервалов самим оператором, ошибкой в скорости развертки. Общая погрешность измерения может достигать ±20%.

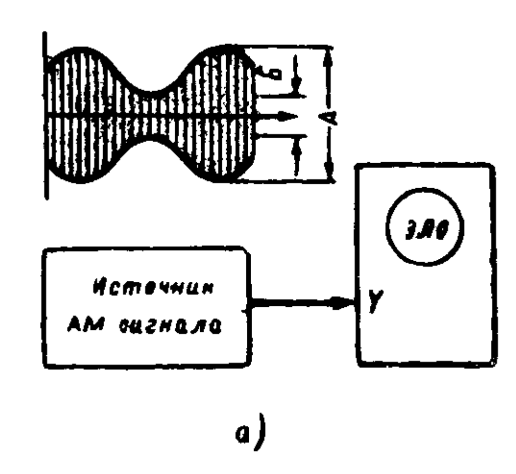
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОСЦИЛЛОГРАФА

При помощи ЭЛО можно измерить без каких-либо вспомогательных устройств коэффициент амплитудной модуляции

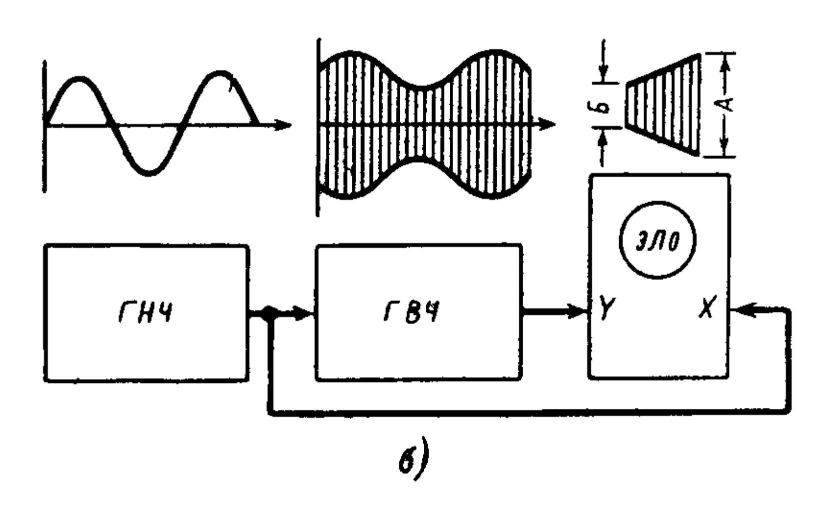
$$m = \frac{A - Б}{A + Б} 100\%,$$

где A и $Б$ — соответственно максимальное и минимальное значения модулированного сигнала (рис. 15).

В зависимости от типа исследуемого устройства блок-схемы измерения коэффициента m различны. На рис. 15,*а* изображена



а)



б)

Рис. 15. Измерение глубины амплитудной модуляции.

блок-схема для случая, когда источником амплитудно-модулированного сигнала является генератор со встроенным модулятором. Отсчитав A и $Б$ по масштабной сетке, находим величину m.

Если колебание генератора высокой частоты (ГВЧ) модулируют напряжением генератора низкой частоты (ГНЧ), то m можно измерять так же, как в предыдущем случае, или по блок-схеме (рис. 15,*б*). Напряжение ГНЧ подают на вход X, а напряжение ГВЧ на вход Y ЭЛО, причем генератор развертки отключают. На экране ЭЛТ будет видна осциллограмма, имеющая форму трапеции. Здесь развертывающим напряжением будет усиленный в канале развертки сигнал ГНЧ. Для этого измерения переключатели $П_5$ и $П_6$ (рис. 1) нужно поставить в положение *2*.

Погрешность измерения коэффициента амплитудной модуляции определяется четкостью осциллограммы, т. е. качеством ее фокусировки, и правильностью отсчетов значений A и $Б$. В обоих случаях ошибка примерно одинакова и составляет около ±5%. Погрешность второго варианта измерения m несколько меньше, так как можно точнее измерить размеры A и $Б$.

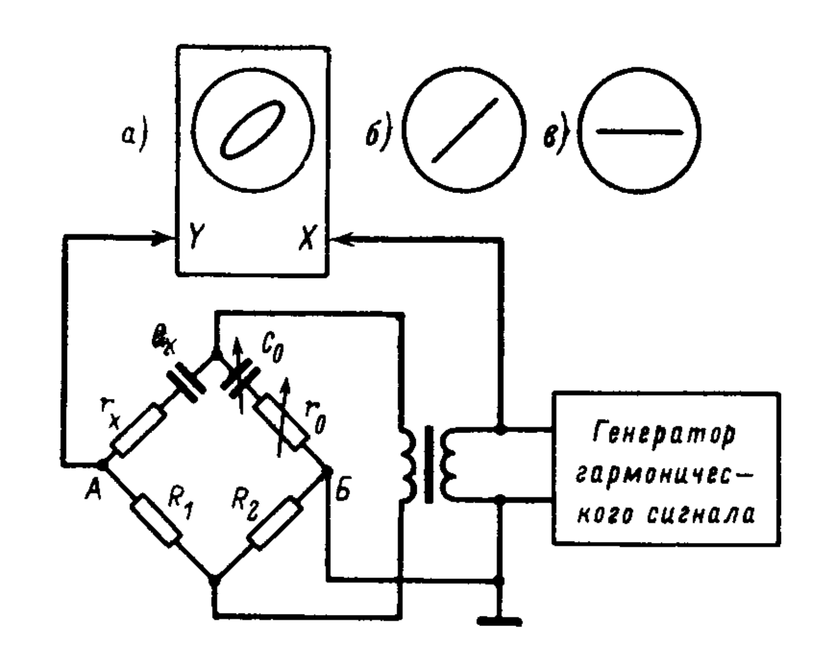


Рис. 16. Измерение емкости с помощью ЭЛО.

Для измерения сопротивлений, индуктивностей и емкостей применяют уравновешенные мосты переменного тока, в которых индикаторами равновесия (баланса) моста являются чувствительные микроамперметры. В качестве такого индикатора можно использовать ЭЛО (рис. 16). В верхнее левое плечо моста включен конденсатор, емкость которого надо измерить (C_x — емкость конденсатора, r_x — сопротивление его потерь), а в верхнее правое плечо — образцовый конденсатор. Если мост не сбалансирован по напряжению (не скомпенсирована C_x) и по фазе (не скомпенсировано r_x), то на экране ЭЛТ наблюдается эллипс (рис. 16, *а*). С помощью потенциометра r_0 выравнивают фазы напряжений, питающих мост, в результате чего получается осциллограмма (рис. 16,*б*). Затем, регулируя C_0, добиваются равенства напряжений в плечах C_x и C_0, вследствие чего в диагонали $AБ$ исчезает ток разбаланса. Осциллограмма

(рис 16,*в*) характеризует полный баланс моста:

$$C_x = \frac{R_2}{R_1} C_0, \quad r_x = \frac{R_1}{R_2} R_0.$$

Для этих измерений необходимо использовать ЭЛО с возможно бо́льшей чувствительностью (например, типа С1-1) и большим диаметром ЭЛТ Это поможет определить момент баланса моста с минимальной ошибкой (1÷3%). Следует иметь в виду, что не всегда удается полностью скомпенсировать сопротивление потерь r_x, вследствие чего осциллограмма (рис 16,*в*) будет иметь форму сильно вытянутого по горизонтали эллипса Момент полного баланса моста можно установить наиболее точно при максимальном усилении сигналов по обоим каналам ЭЛО.

Усилители вертикального и горизонтального отклонений можно использовать отдельно от каналов Y и X (см рис. 1)

Усилитель вертикального отклонения (УВО) обладает хорошими техническими характеристиками: широкой полосой пропускания (в отдельных случаях, как например, в ЭЛО типа С1-4, УВО является усилителем постоянного тока), стабильным и довольно большим коэффициентом усиления в рабочей полосе частот, линейной фазовой характеристикой Необходимо обратить внимание на то, что, как правило, выходные каскады УВО собраны по двухтактной схеме и с ЭЛТ связаны непосредственно, поэтому напряжение с усилителя следует снимать (через переходные конденсаторы емкостью не менее 0,1 *мкф*) с корпуса и одной из ламп оконечного каскада или с обеих ламп.

То же самое можно сказать и об усилителе горизонтального отклонения (УГО), хотя его характеристики по сравнению с УВО несколько хуже.

Канал горизонтального отклонения может быть использован и как устройство, вырабатывающее напряжение пилообразной формы, которое можно снять с выхода канала при установке переключателя $П_5$ в положение *1* (при внутренней синхронизации генератора развертки) или в положение *2* (при внешней его синхронизации), а переключателя $П_6$ — в положение *1*.

ЭЛТ может служить в качестве самостоятельного индикатора, причем в этом случае сигнал, поданный непосредственно на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ, искажается меньше, так как он минует усилитель вертикального отклонения Напряжение сигнала должно быть достаточно большим, чтобы размер осциллограммы позволял делать необходимые измерения. Величина этого сигнала находится по заданным размерам осциллограммы l и чувствительности вертикально отклоняющих пластин ЭЛТ h_y. Например, на экране ЭЛТ типа 8ЛО29 (h_y=0,23 *мм/в*) можно получить осциллограмму с размером по вертикали l=40 *мм*. Подводимое к ЭЛТ напряжение должно быть $U_М = l : h_y = 40 : 0{,}23 \approx 175$ *в*. Поскольку напряжение сигнала обычно снимается относительно корпуса, то одну из вертикально отклоняющих пластин нужно через емкость порядка 0,1—0,05 *мкф* соединить с корпусом, а исследуемый сигнал подавать на другую пластину Развертывающим напряжением в этом случае может быть как напряжение внутреннего генератора развертки ЭЛО, синхронизированное исследуемым сигналом, так и посторонний источник, напряжение которого либо усиливается в канале горизонтального отклонения, либо непосредственно подается на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ

ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Измерение частоты гармонических сигналов при помощи ЭЛО основано на сравнении периодов колебаний поверяемого источника гармонических сигналов и эталонного генератора. При этом ЭЛО служит индикатором, по которому судят о соотношении периодов этих колебаний. Наиболее часто эти измерения делают с помощью

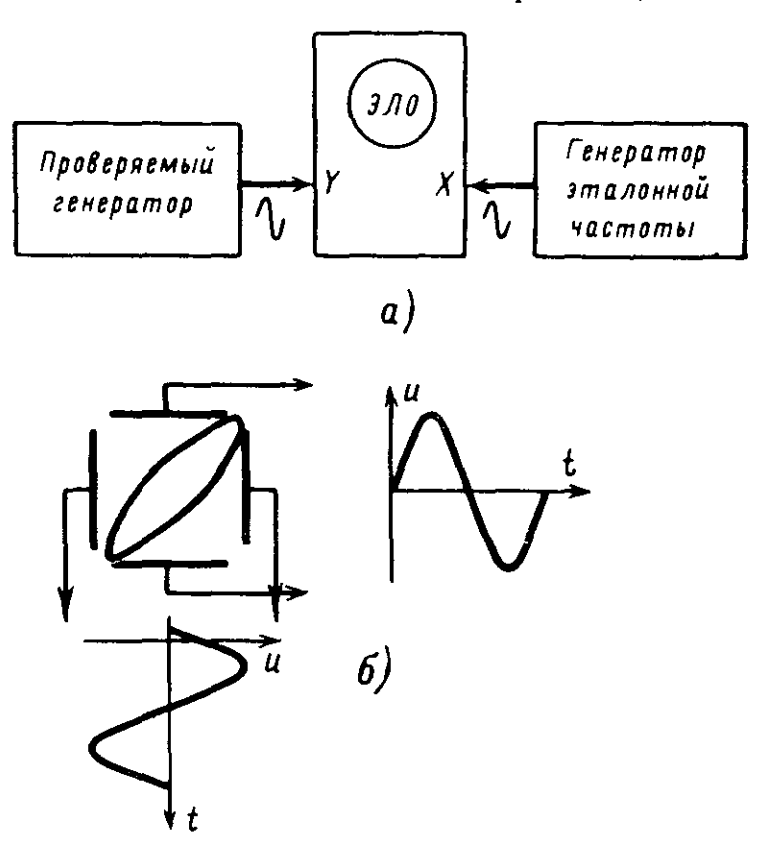


Рис. 17. Измерение частоты гармонических колебаний методом фигур Лиссажу.

получаемых на экране ЭЛТ интерференционных фигур — фигур Лиссажу. В другом, не менее распространенном методе применяют круговую развертку.

Получение интерференционных фигур (фигур Лиссажу). Для измерения частоты по фигурам Лиссажу (рис. 17,*а*) необходим вспомогательный высокостабильный генератор эталонной частоты, обеспечивающий как плавную ее перестройку, так и высокую точность отсчета Результат измерения не зависит от того, к какому из входов ЭЛО подключен тот или иной генератор, и поэтому не обязательно придерживаться именно этой схемы.

Подав оба сигнала на входы ЭЛО, регулировкой усиления каналов ЭЛО и выходных уровней обоих генераторов устанавливают удобный для наблюдения размер осциллограммы Генератор развертки ЭЛО в этом случае не работает, так как развертка осуществляется напряжением эталонного генератора Затем, перестраивая частоту эталонного генератора, получают простейшую интерферен-

ционную фигуру — эллипс (рис. 17,*б*). Это свидетельствует о равенстве частот колебаний обоих генераторов. Эллипс получается из-за начального фазового сдвига колебаний, а также неидентичных фазовых характеристик усилителей ЭЛО (на рис. 17,*б* напряжение, подаваемое на вход *X*, несколько опережает по фазе напряжение, подаваемое на вход *Y* ЭЛО). Если фазы обоих колебаний совпадают и амплитуды одинаковы, то на экране ЭЛТ получится прямая, наклоненная к оси *X* под углом 45°. Как правило, получаемая осциллограмма неустойчива из-за нестабильности частоты обоих генераторов. Перестройкой эталонного генератора осцилограмму делают неподвижной и по шкале эталонного генератора определяют искомую частоту для этого момента времени. Нетрудно показать, что чем выше сопоставляемые частоты, тем строже требование к их стабильности. Так, например, при измерении частоты $f=100$ *гц*, уход которой Δf за 1 *сек* составляет 1 *гц* и нестабильность соответственно $\alpha=\Delta f:f=1:100=10^{-2}$, получить неподвижную осциллограмму совсем нетрудно. Если же частота $f=100$ *кгц*, то при $\alpha=1\cdot10^{-2}$ уход частоты за 1 *сек* составит $\Delta f=\alpha f=1\cdot10^{-2}\cdot100\times10^3=1\,000$ *гц*. Получить такие же условия для измерения, как в предыдущем примере, не удается: чтобы достичь их, надо использовать генератор с $\alpha=1\cdot10^{-5}$ Нестабильность частоты эталонного генератора не учитывается, хотя она также влияет на устойчивость осциллограммы, но в гораздо меньшей степени, чем нестабильность частоты поверяемого генератора.

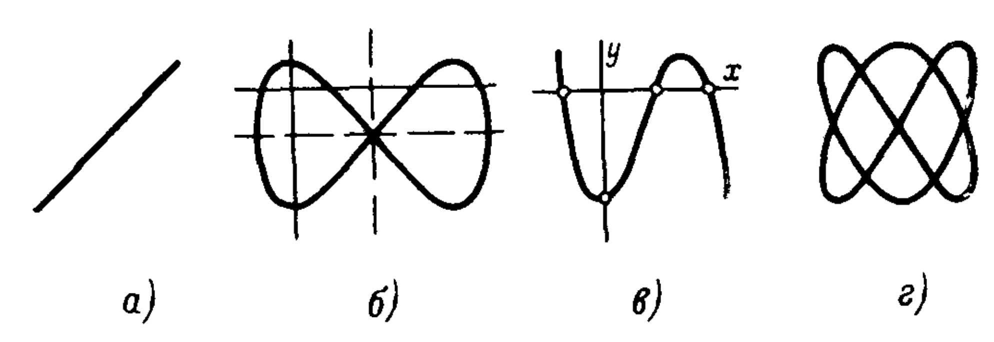


Рис. 18. Осциллограммы фигур Лиссажу.

Совершенно не обязательно получать осциллограмму в виде эллипса. Может быть получена любая другая фигура Лиссажу, по виду которой (рис. 18) нетрудно определить соотношение периодов исследуемых сигналов, т. е. найти неизвестную частоту. Рассмотрим фигуру (рис. 18,*в*). Если сместить оси координат относительно центра симметрии фигуры, то получится несколько точек пересечения ее с осями: по оси *y* — одна точка ($m_y=1$), по оси *x* — три точки ($n_x=3$). Следовательно, напряжение, поданное на вход *Y*, перемещает луч по вертикали, и он три раза пересекает ось *x*, а напряжение, поданное на вход *X*, перемещает луч по горизонтали, причем он пересекает ось *y* в одной точке. В тот момент, когда фигура неподвижна, периоды обоих сигналов кратны: $3T_y=T_x$, отсюда

$$f_y=3f_x,\ m_y f_y=n_x f_x.$$

Это равенство пригодно для любого соотношения частот

На осциллограмме (рис. 18,б) пунктиром показаны неверно нанесенные оси координат (по центру симметрии фигуры), при этом

$m_y=1$, $n_x=3$, в то время как правильное их расположение дает $m_y=2$ и $n_x=4$.

Погрешность измерения частоты по этому методу определяется в основном погрешностью эталонного генератора и правильностью отсчета числа точек пересечения фигуры с осями координат.

Применение круговой развертки. Для ее получения, кроме эталонного генератора, необходим фазовращатель (фазорасщепитель),

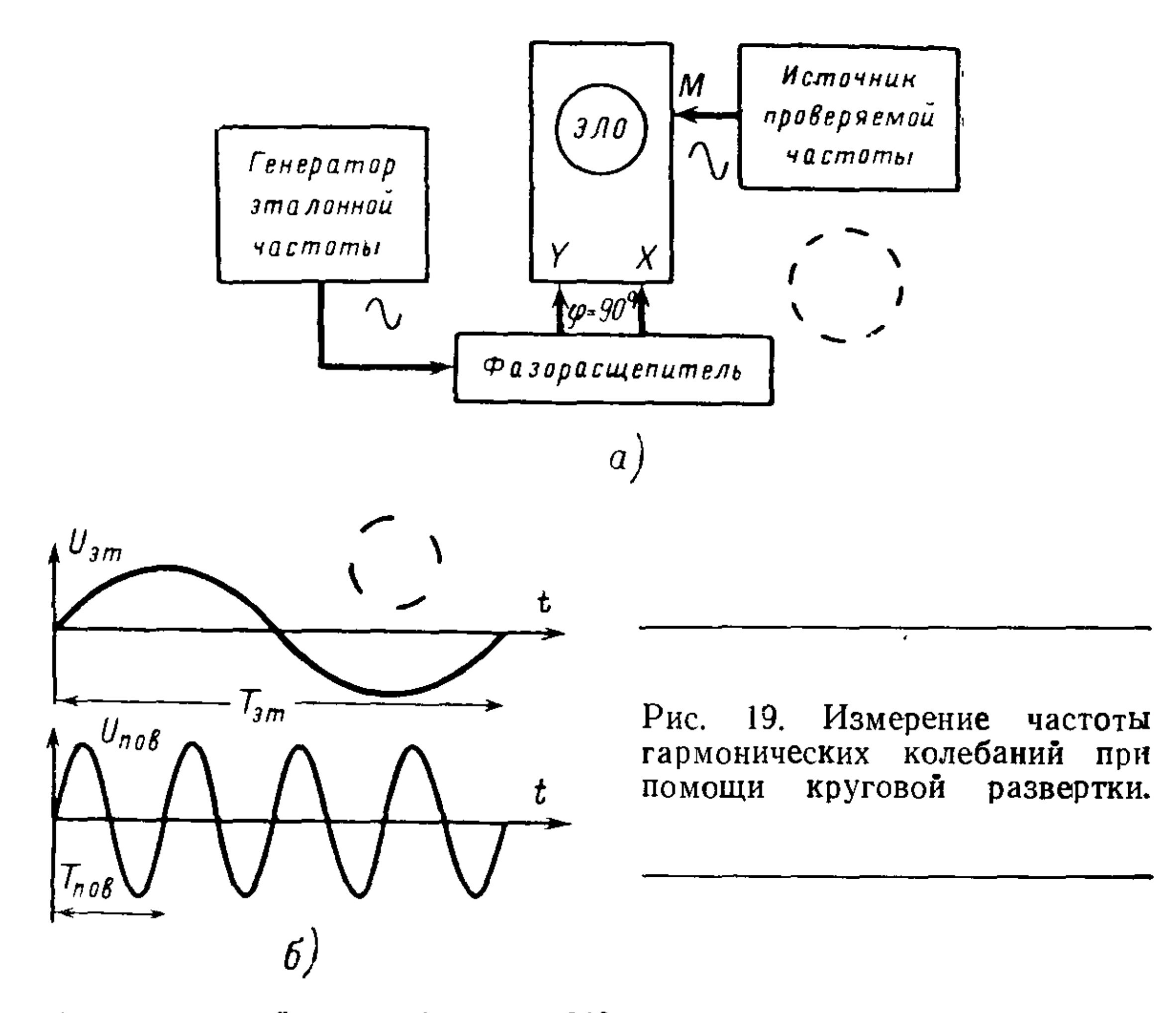


Рис. 19. Измерение частоты гармонических колебаний при помощи круговой развертки.

обеспечивающий сдвиг фазы на 90° в диапазоне измеряемых частот (рис. 19,*а*). Методика измерения такова. Регулируя усиление в обоих каналах ЭЛО, на экране ЭЛТ получают четкую окружность размером примерно 0,8 диаметра ЭЛТ. На управляющий электрод ЭЛТ — модулятор *M* или вход *Z* ЭЛО — подают напряжение источника поверяемой частоты и, перестраивая частоту эталонного генератора, получают неподвижную осциллограмму, представляющую собой окружность с равными темными и светлыми промежутками. Подсчитав число *n* светлых или темных меток, получают $T_{эт}=nT_{пов}$ или $f_{пов}=nf_{эт}$, где $n=1, 2, 3, \ldots$.

Получение пунктирной окружности объясняется тем же физическим явлением, о котором уже говорилось при рассмотрении работы калибратора длительности ЭЛО — модуляцией луча ЭЛТ по яркости. Напомним, что величина напряжения поверяемого источника сигнала должна быть достаточной для запирания луча.

При $T_{эт}=4T_{пов}$ ($f_{пов}=4f_{эт}$) (рис. 19,*б*) осциллограмма имеет четыре светлых и темных промежутка. Окружность не будет вращаться лишь при кратном соотношении периодов (частот) обоих источников сигналов, что предъявляет такие же требования к ста-

бильности частоты эталонного генератора, как и в предыдущем методе.

Измерение частоты с помощью круговой развертки имеет несколько характерных особенностей. Если предполагается вести измерение частоты в небольшом диапазоне ($f=\pm 20\%$), то можно использовать не регулируемый фазовращатель, а фиксированный фазорасщепитель (рис. 20), элементы которого подбираются из соотношения

$$R=X_c=\frac{1}{\omega C}.$$

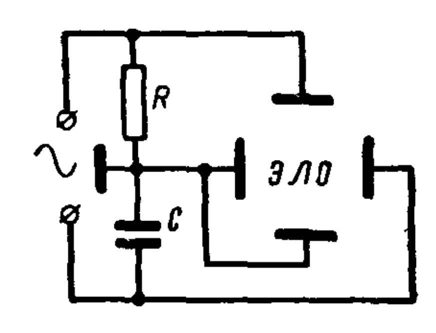


Рис. 20. Упрощенная схема фазорасщепителя.

На частоте ω получится окружность; при перестройке частоты в небольших пределах осциллограмма принимает вид эллипса. Это искажение можно восстановить регулировкой усиления в каналах ЭЛО. Погрешность измерения частоты, как и в первом случае, зависит от погрешности эталонного генератора и правильности подсчета числа разрывов на осциллограмме.

Сравнивая оба варианта измерения, мы видим, что первый вариант весьма прост и нагляден, благодаря чему он распространен больше. Его недостатки следующие: при соотношении периодов более трех получаемые фигуры Лиссажу становятся весьма запутанными,— большие фазовые сдвиги, низкая стабильность частоты, поэтому измерения этим методом можно проводить в относительно небольшом диапазоне частот (от единиц герц до нескольких десятков килогерц).

Второй вариант измерения не зависит от фазовых соотношений и дает возможность получить кратность периодов порядка 15—20, но требует применения фазовращателей, ограничивающих диапазон измеряемых частот. Кроме того, измерение возможно лишь при условии $n\geqslant 1$.

С помощью ЭЛО и эталонного генератора можно измерять не только частоту, но и длительность процесса. Напряжение эталонного сигнала в этом случае подают на модулятор ЭЛО (вход Z), а сигнал, длительность которого надо измерить,— на вход Y. Происходит модуляция луча по яркости. Зная частоту эталонного генератора и подсчитав число меток, легко определить длительность.

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ СЛЕДОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ

Измерять частоту следования импульсов можно теми же методами, что и частоту гармонических колебаний, но эти измерения имеют ряд особенностей [Л. 1].

Получение интерференционных фигур. Блок-схема измерения частоты следования импульсов при помощи интерференционных фигур такая же, как изображена на рис. 17,*а*. Наиболее распространены два варианта измерений.

Первый вариант. Регулируя усиление каналов ЭЛО и выходное напряжение обоих генераторов, получают удобную для наблюдения (по размерам) осциллограмму. Затем перестраивают частоту эталонного генератора, добиваясь неподвижности изображения, представляющего собой один вертикальный импульс. В случае, если импульсный сигнал был бы подан на вход X, а эталонный на вход Y, то этот импульс занял бы горизонтальное положение. Получение одного импульса свидетельствует о кратном отношении периодов (частот) измеряемого и эталонного сигналов (рис. 21): $T_{изм}=nT_{эт}$, $n=1, 2, 3, \dots$.

Как видно из рисунка, получаемый результат неоднозначен. Для устранения этой неопределенности делают так: получив осциллограмму типов (*а*) или (*б*), уменьшают частоту эталонного сигнала в 2 раза относительно исходной. При этом, если соотношение периодов соответствовало (*а*), получится осциллограмма (*в*), а если соотношение периодов соответствовало (*б*), то получится осциллограмма (*а*). Нужно отметить, что этот вариант измерения осуществим при условии $n<5$, т. е. необходимо приблизительно знать частоту измеряемого напряжения. Частоту эталонного генератора уменьшают до тех пор, пока последовательно не будут получены осциллограммы (*а*) и (*в*). Затем частоту эталонного генератора вновь уменьшают относительно отсчета, полученного для осциллограммы (*а*), в 3 раза, добиваясь получения осциллограммы (*г*). Проделав эти измерения и записав значение частот эталонного генератора, соответствующих осциллограммам (*а*, *в*, *г*),

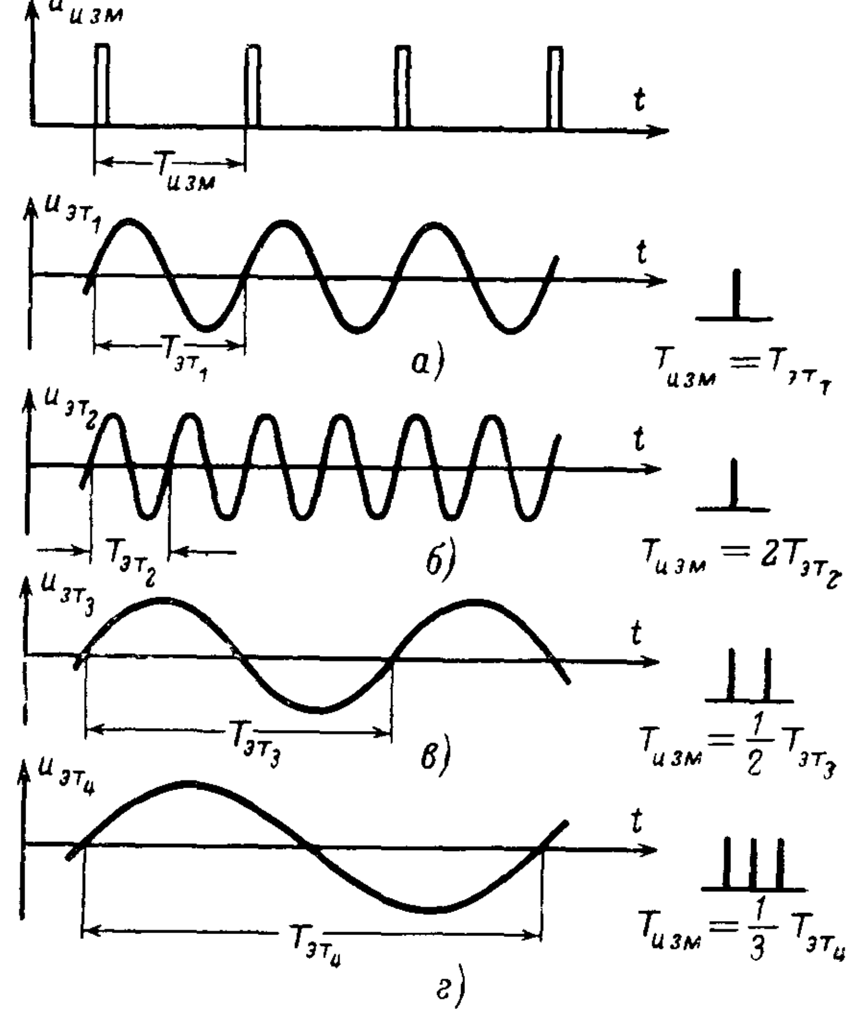


Рис. 21. Измерение частоты следования импульсов методом интерференционных фигур.

еще раз убеждаются в том, что все они получаются последовательно. После этого можно утверждать, что частота колебаний эталонного генератора равна частоте следования импульсов исследуемого источника.

Второй вариант. На вход *Y ЭЛО* подают напряжение поверяемого источника (генератор развертки ЭЛО включен) и, регулируя развертку, получают один период исследуемого сигнала. Заметив протяженность периода по экрану ЭЛТ, не трогая органов управления ЭЛО и отключив поверяемый генератор, ко входу *Y* подключают эталонный генератор. Изменяя его частоту, получают один период эталонного напряжения такой же протяженности, т. е. добиваются приближенного равенства $T_{изм} \approx T_{эт}$. Затем, подключив к ЭЛО оба источника так, как это показано на рис. 17,*а* (генератор развертки выключен), окончательно уравнивают периоды обоих источников, добиваясь условия, соответствующего рис. 21,*а*.

Все сказанное о погрешности измерения частоты гармонических колебаний полностью относится и к данному случаю. Сравнивая первый и второй варианты, можно сказать, что они по сложности примерно одинаковы.

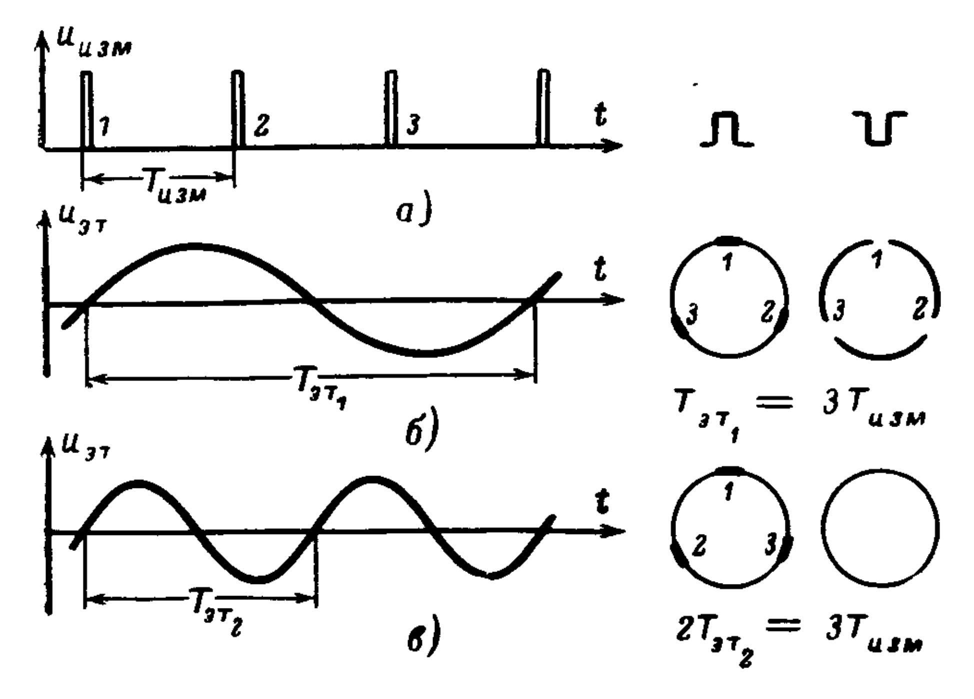


Рис. 22. Измерение частоты следования импульсов при помощи круговой развертки.

Применение круговой развертки. Блок-схема и методика измерения длительности такие же, как рассмотренные выше при измерениях частоты. Однако, поскольку сигнал импульсный и его длительность по сравнению с полупериодом гармонического колебания значительно меньше, а полярность может быть различной, осциллограммы отличаются от вышеприведенных. На рис. 22 представлены временные диаграммы измеряемого *а* и эталонного *б*, *в* сигналов для различных случаев, а справа изображены осциллограммы, соответствующие положительной и отрицательной полярностям импульсного напряжения. Амплитуда импульсов должна обеспечить запирание луча ЭЛТ.

Изменяя частоту эталонного генератора, получают неподвижную осциллограмму, которая при выполнении условия кратности периодов (в нашем случае $T_{эт1} = 3T_{изм}$ или $f_{изм} = 3f_{эт1}$) и положительной полярности импульсов будет иметь вид окружности с тремя яркими точками, протяженность которых соответствует длительности импульсов. Эту осциллограмму можно сделать более четкой, снизив яркость свечения. Если импульсы имеют отрицательную полярность, на окружности будут наблюдаться три темные точки, соответствующие запиранию луча ЭТЛ на время длительности импульсов.

Весьма возможно, что при перестройке частоты эталонного генератора соотношение периодов будет выражаться дробно-рациональным числом (на рис. 22,*в* это соотношение определяется равенством $T_{эт2} = \frac{3}{2} T_{изм}$). В этом случае при положительной полярности импульсов осциллограмма соответствует варианту *б*, при отрицательной же полярности окружность вообще не будет иметь меток. Это объясняется тем, что первый период $T_{эт2}$ даст на экране разрывы, соответствующие импульсам *1* и *2*, а второй период $T_{эт2}$ «сотрет» эти разрывы и даст метку, соответствующую импульсу *3*. Обычно частота эталонного напряжения больше 15 *гц*, поэтому глаз не в состоянии различить мелькания меток.

Рассмотрение обеих осциллограмм указывает средство для устранения неоднозначности, возникающей при положительной полярности импульсов: использовать импульсы только отрицательной полярности или подавать положительные импульсы на катод ЭЛТ.

Этот метод лучше всего применять при больших длительностях импульсов.

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ

Временны́е параметры могут быть определны при помощи калибратора длительности; в рассматриваемом случае предполагается, что этот калибратор не используется.

Для измерений при помощи вспомогательных устройств необходимо откалибровать напряжение развертки и получить линейную шкалу, по которой непосредственно можно производить отсчеты временных интервалов [Л. 1]. Например, необходимо измерить временной интервал Δt между двумя импульсами (рис. 23). Прежде всего посмотрим, как этот интервал получается на экране ЭЛТ. Генератор опорного импульса (ГОИ) вырабатывает импульсное напряжение, которое поступает на четырехполюсник, запуск генератора развертки ЭЛО (генератор развертки работает в режиме внешней синхронизации) и вход *Y ЭЛО* (рис. 23,*а*). Исследуемым четырехполюсником может быть любая электронная схема (усилитель, генератор с посторонним возбуждением и т. п.), временную задержку которой Δt надо измерить.

Опорный импульс запускает генератор развертки, вырабатывающий пилообразное напряжение (рис. 23,*б*). Этот же импульс, пройдя четырехполюсник, задерживается в нем и попадает на вход канала *Y ЭЛО*. На осциллограмме он располагается на расстоянии Δt от опорного. В случае, если в канале *Y* есть линия задержки, то подавать опорный импульс на вход *X* не обязательно; в этом

случае генератор развертки должен работать в режиме внутренней синхронизации. Длительность развертки выбирают такой, чтобы интервал между импульсами занимал весь диаметр ЭЛТ, при этом повышается точность измерения.

К а л и б р о в а н н а я развертка — такое пилообразное напряжение, которое имеет высокую линейность, незначительную протяженность обратного хода и известный временной масштаб прямого

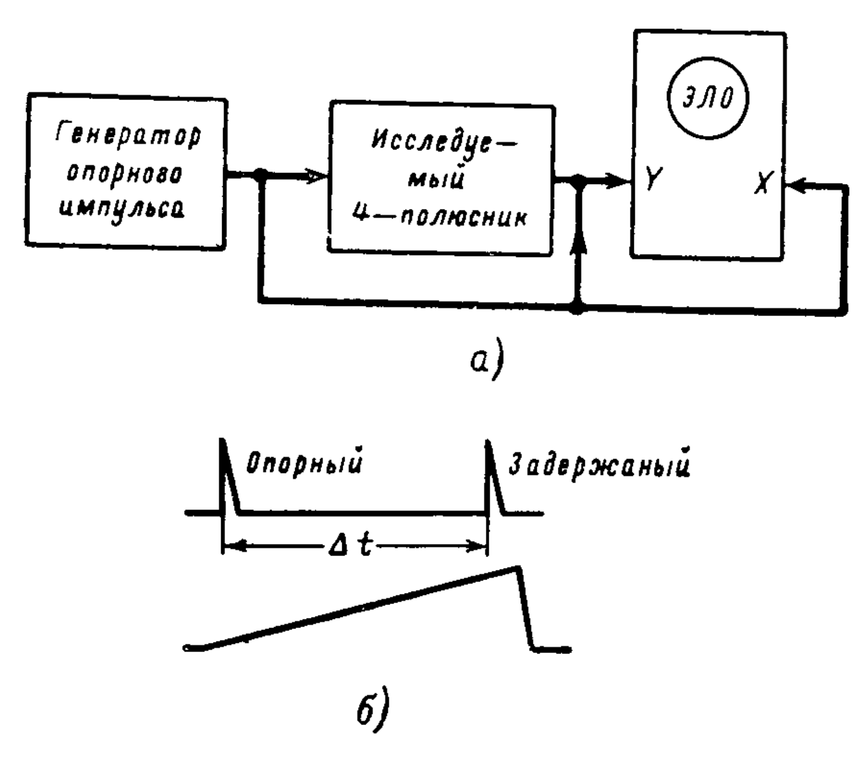


Рис. 23. Измерение временного интервала между двумя импульсами при помощи линейной развертки.

хода. Протяженность прямого хода развертки обычно указывается в герцах или килогерцах. Например, если такое напряжение характеризуется частотой 5 *кгц*, то нетрудно подсчитать, пренебрегая временем обратного хода, что длительность прямого хода $T=1/f==0{,}2$ *мсек*. Таким образом, используя развертку, один период которой укладывается в пределах диаметра ЭЛТ, можно получить ось отсчета времени длиною 0,2 *мсек*. Если же применяется ждущая развертка, которая задается в размерности времени, например, 100 *мксек*, то это говорит о том, что прямой ход одного сигнала ждущей развертки на экране ЭЛТ дает ось отсчета времени длиною в 100 *мксек*.

Калиброванная развертка позволяет измерить временной интервал Δt. Пусть на экране ЭЛТ получена осциллограмма, соответствующая временному интервалу Δt, длина которого 63 *мм*, длительность развертки 500 *мксек*, прямой ход развертки соответствует 90 *мм*. Временной интервал можно найти из пропорции:

$$\frac{500}{90}=\frac{\Delta t}{63}\ ;\quad \Delta t=\frac{500\cdot 63}{90}=350\ \textit{мксек}.$$

Если развертка не калибрована, ее можно откалибровать с помощью эталонного генератора гармонических колебаний. Напряжение от эталонного генератора определенной частоты, например 10 *кгц*, подают на вход *Y* ЭЛО (генератор развертки работает в режиме внутренней синхронизации). Перестраивая органы управления разверткой, получают один или несколько периодов гармонического сигнала. Положим, что на экране ЭЛТ (диаметр 10 *см*) получен один период, занявший 80 *мм*. Тогда можно считать, что в пределах этого интервала шкала линейна в пределах от 0 до 100 *мксек*. Шкалой можно воспользоваться, если не изменять положение органов управления разверткой. Если же на этом же участке уложилось, например, три периода той же частоты, то шкала имеет пределы от 0 до 300 *мксек*.

Поскольку границы измеряемого временного интервала заранее не известны, то измерения следует проводить в следующем порядке:

а) включить приборы по блок-схеме (рис. 23,*а*) и получить на экране ЭЛТ измеряемый временной интервал Δt;

б) отключить четырехполюсник и, не трогая органов управления разверткой, подать на вход *Y* ЭЛО напряжение эталонного генератора гармонического сигнала. Установить такую его частоту, которая давала бы целое число периодов внутри интервала Δt (для удобства расчетов лучше выбирать значения частоты, кратные десяти);

в) откалибровав таким образом развертку, снова вернуться к схеме (рис 23,*а*) и определить величину Δt.

Пределы измерения можно изменять перестройкой частоты генератора развертки ЭЛО.

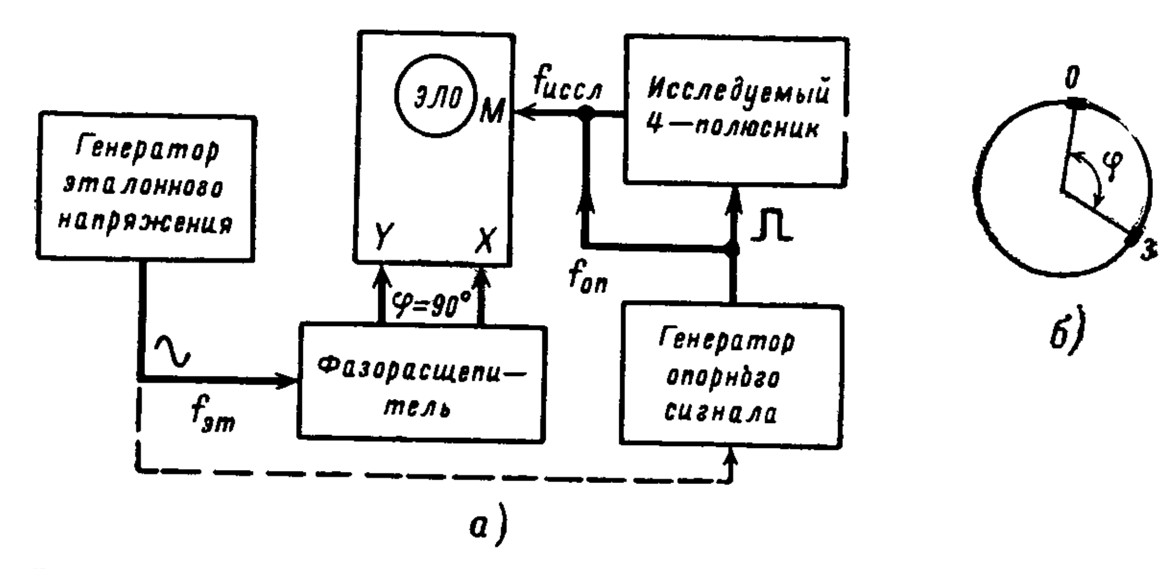


Рис. 24. Измерение временного интервала при помощи круговой развертки.

Так как длина окружности в π раз больше диаметра, то применение круговой развертки дает возможность при одном и том же диаметре экрана ЭЛТ повысить точность измерения Δt по сравнению с вышеописанным примерно в два с лишним раза (рис. 24,*а*). При равных частотах эталонного генератора и генератора опорного импульсного сигнала получается круговая развертка. Показанная на рис. 24,*а* цепь синхронизации генератора опорного сигнала напряжением эталонной частоты в общем случае не обязательна, но

она ускоряет измерения. Опорный импульс подают на модулятор ЭЛТ *M* и, подстраивая частоту $f_{эт}$, получают на окружности одну неподвижную яркую метку *O* (рис. 24,*б*). Для улучшения четкости осциллограммы яркость свечения круговой развертки можно снизить. Напряжение опорного импульса поступает на исследуемый четырехполюсник, задерживается в нем на время Δt и подается на модулятор. В результате на круговой развертке получают вторую метку *З*, сдвинутую относительно первой на угол φ. Измерив его по градусной сетке, находят временной интервал из соотношения

$$\Delta t = \frac{T_{эт}}{360°}\varphi°.$$

Например, $f_{эт} = 1$ *кгц* ($T_{эт} = 1\,000$ *мксек*), $\varphi = 75°$,

$$\Delta t = \frac{1\,000}{360°}\cdot 75° = 208 \text{ мксек}.$$

ИЗМЕРЕНИЕ СДВИГА ФАЗ

Наиболее часто встречающийся случай — измерение разности фаз двух гармонических колебаний одинаковой частоты (рис. 25). Фазовый сдвиг между этими сигналами

$$\alpha = (\omega t + \varphi_1) - (\omega t - \varphi_3) = \varphi_1 + \varphi_3.$$

Его можно определить, приняв один из них за опорный, т. е. определяющий начало отсчета, начальная фаза которого принимается равной нулю. Например, перенеся начало отсчета в точку *a*, т. е.

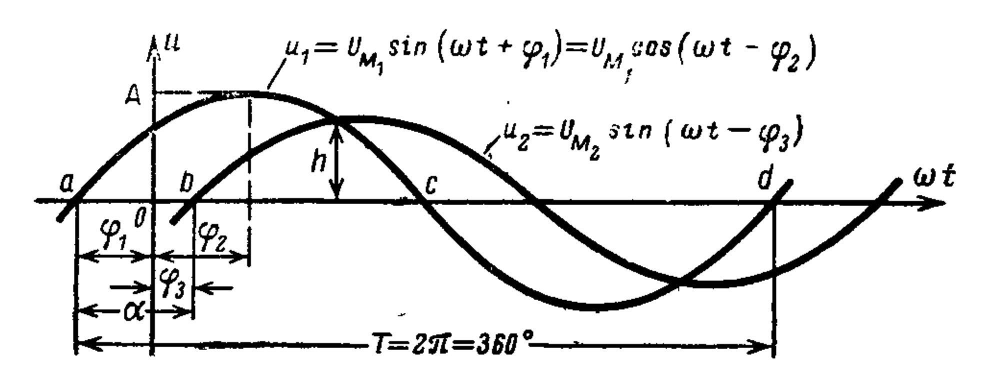


Рис. 25. Гармонические сигналы, отличающиеся по фазе.

приравняв начальную фазу сигнала u_1 нулю, фаза сигнала u_2 равна $-\alpha$ (отставание по фазе), и наоборот, если начало отсчета перенести в точку *b* — сигнал u_2 будет опорным,— то фаза сигнала u_1 станет равной $+\alpha$ (опережение по фазе).

Наиболее распространенный метод измерения фазового сдвига— метод эллипса (рис. 26,*а*). Процесс получения эллипса на экране ЭЛТ описан в литературе достаточно подробно [Л. 2, 4] и здесь не рассматривается. От генератора опорного сигнала гармоническое колебание u_1 подается на вход *X* ЭЛО и на исследуемый

четырехполюсник, выходное напряжение которого u_2 имеет фазовый сдвиг относительно сигнала u_1. Перед началом измерения нужно исключить фазовый сдвиг φ_0, вносимый каналами ЭЛО. На рис. 26,*б* показаны начала временных диаграмм напряжений: u_1 — сигнал опорного генератора, u_x — сигнал канала горизонтального отклонения, поступивший на ЭЛТ и отставший по фазе относительно исходного на φ_1, u_y — сигнал канала вертикального отклонения, сдвинутый относительно опорного еще больше — на φ_2. Такое расположение сигналов обусловлено тем, что фазовый сдвиг, вносимый каналом

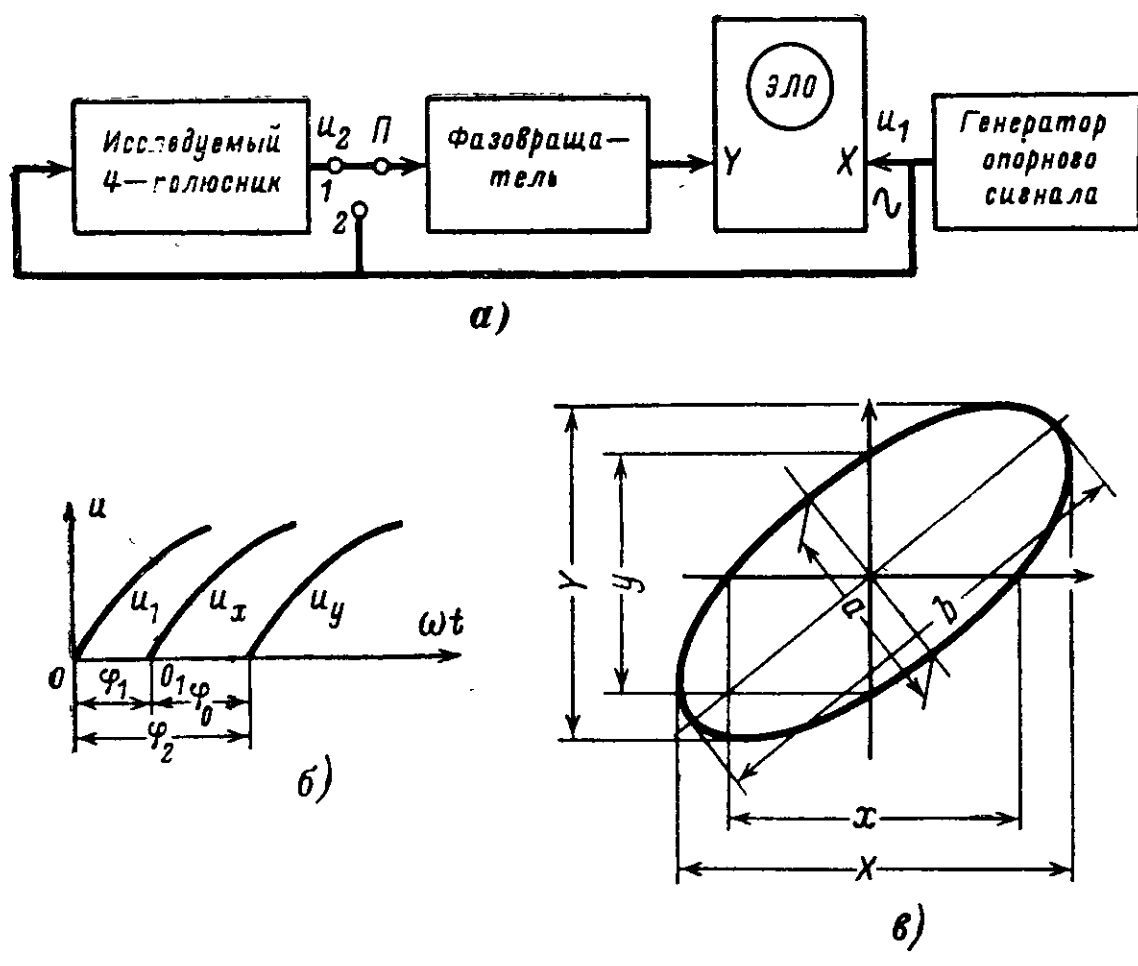


Рис. 26. Измерение фазового сдвига методом эллипса.

вертикального отклонения ЭЛО, больше, чем фазовый сдвиг, вносимый каналом горизонтального отклонения, так как его устройство сложнее. Именно поэтому регулируемый фазовращатель подключен ко входу *Y* для того, чтобы скомпенсировать малые фазовые сдвиги.

До измерения необходимо скомпенсировать величину φ_0, т. е. добиться того, чтобы при подаче сигнала u_1 на оба входа ЭЛО (переключатель *П* в положении *2*) фазовый сдвиг φ_0 равнялся нулю. Это обеспечивается фазовращателем, перестраивая который, можно скомпенсировать отрицательную фазу сигнала u_y и совместить его с началом сигнала u_x. Благодаря этому устраняется разность фазовых характеристик каналов, а началом отсчета становится точка 0_1. При менее точных измерениях можно обойтись и без фазовращателя, но при этом величину φ_0 необходимо измерить методом эллипса и вычесть ее из полученного результата. Проделав эти операции,

переключатель *П* ставят в положение *1* и на вход *Y* ЭЛО подают сигнал u_2.

Если вместо четырехполюсника используется генераторное устройство, то его частота должна быть равна частоте опорного сигнала (напряжение u_1 на его вход не подается).

По полученной осциллограмме (рис. 26,*в*) величину фазового сдвига φ сигнала u_2 находят по одному из соотношений [Л. 8]:

$$\sin\varphi = \frac{y}{Y} = \frac{ab}{XY}.$$

При равенстве напряжений разверток обоих каналов результат измерения может быть получен из соотношений

$$\varphi = 2\operatorname{arctg}\frac{a}{b} = 2\arcsin\frac{a}{2\sqrt{2}\,Y} = 2\arcsin\frac{a}{2\sqrt{2}\,X}.$$

Процесс измерения можно ускорить, применив специальные отсчетные устройства [Л. 2, 3].

Чтобы найти центр эллипса и определить линейные размеры *Y* и *X*, можно воспользоваться следующим приемом. Отключив от ЭЛО сигнал u_1 и подавая u_2, на экране ЭЛТ получают развертку в виде вертикальной прямой, линейный размер которой равен *Y*. Смещением луча по вертикали совмещают середину этой прямой с центром масштабной сетки. Затем, отключив сигнал u_2 и подавая u_1, получают развертку в виде горизонтальной прямой, линейный размер которой равен *X*. Смещением луча по горизонтали устанавливают середину этой прямой с центром масштабной сетки. В результате при подаче обоих сигналов центр эллипса будет находиться в середине масштабной сетки.

Рассмотренный метод дает возможность измерять фазовый сдвиг в пределах от 0 до 180°. Ошибка измерения величины φ обусловлена неточностью линейных измерений, конечным размером ширины луча и высшими гармониками сигнала. Погрешность измерения достигает 2—3° при измерении фазовых сдвигов порядка 0 или 180° и более 10° при измерении сдвигов порядка 90°. Если сигнал содержит высшие гармоники, величина которых составляет 2% от общего напряжения, то указанные ошибки возрастают примерно на 2° и 10° соответственно [Л. 2].

При измерении фазовых сдвигов по приведенной схеме фаза отрицательна. При замене четырехполюсника генератором знак φ может быть различным; методика определения знака подробно изложена в [Л. 3, 8].

Метод эллипса заметно упрощается, а точность измерения возрастает в случае, если использовать плавно регулируемый г р а д у и р о в а н н ы й фазовращатель; получив на ЭЛТ эллипс, фазовращатель перестраивают до получения нулевой фазы, т. е. до превращения эллипса в линию. Результат измерения определяется по шкале фазовращателя.

Важным элементом блок-схемы измерения являются различные фазовращатели, принцип действия которых и конкретное описание читатель сможет найти в [Л. 2, 3, 8].

Следующий метод измерения фазового сдвига — **м е т о д н а л о ж е н и я** — заключается в получении на экране ЭЛТ двух

осциллограмм гармонических сигналов, один из которых сдвинут на некоторый фазовый угол относительно другого (рис. 25). Одно из этих напряжений u_1 является опорным, т. е. начало отсчета фазы находится в точке *a*. Получив на экране ЭЛТ эти сигналы, зная линейные размеры периода *ad* (или его половины *ac*) и величину фазового сдвига *ab*, по одной из формул [Л. 8] можно найти

$$\alpha = \frac{ab}{ac}\,180° = \frac{ab}{ad}\,360°.$$

В случае р а в е н с т в а а м п л и т у д обоих сигналов фазовый сдвиг определяется из выражения

$$\alpha = \arccos\frac{h}{A},$$

где *A* и *h* даны в миллиметрах

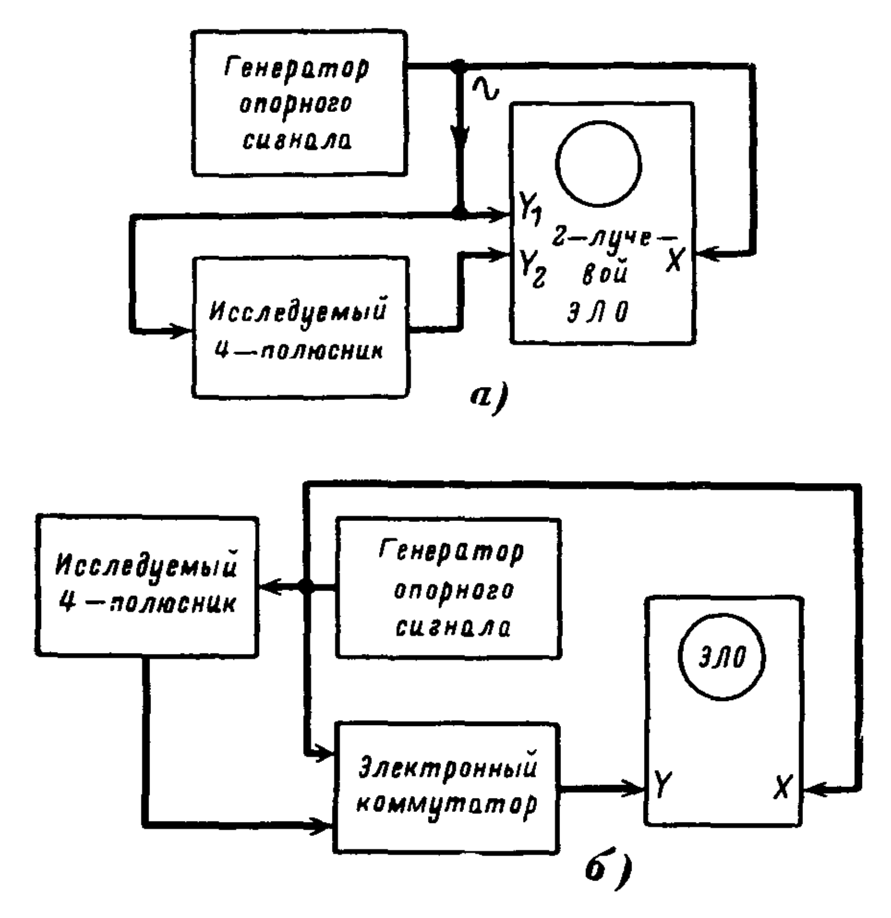


Рис. 27. Измерение фазового сдвига методом наложения.

Метод наложения может быть осуществлен с помощью двухлучевого осциллографа или обычного осциллографа и электронного коммутатора, который поочередно подает на вход *Y* ЭЛО оба напряжения (рис. 27). Период напряжения развертки ЭЛО должен быть несколько больше периода исследуемого сигнала, а генератор развертки синхронизируется одним из входных напряжений.

Погрешность измерения фазового сдвига определяется ошибкой измерения линейных размеров, конечной шириной электронного луча, неточностью установки нулевой линии. Желательно использо-

вать ЭЛО с большим диаметром ЭЛТ и как можно лучшей фокусировкой — это повысит как точность измерения, так и разрешающую способность Погрешность измерения при этом не более 5—7°. Принцип действия и конкретные схемы электронных коммутаторов можно найти в [Л. 2, 5].

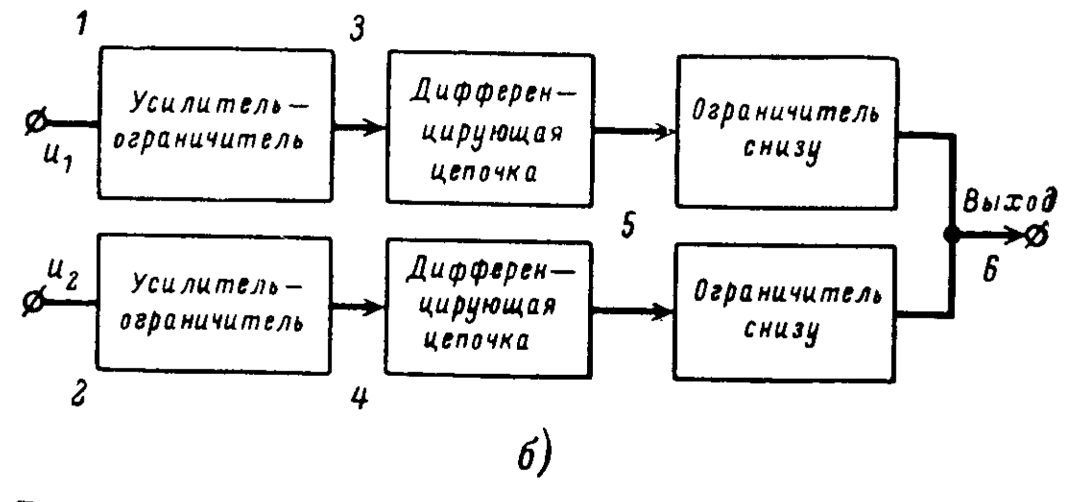
В [Л. 2, 3] описан еще один метод, основанный на преобразовании сдвига фаз во временной интервал (рис. 28). На рис. 28, *а* показаны эпюры напряжений в различных точках функциональной схемы формирования импульсов, временной сдвиг между которыми прямо пропорционален сдвигу фаз между сигналами u_1 и u_2. Из приведенных временных диаграмм нетрудно установить, что

$$\varphi = \frac{a}{T}\,360°,$$

где a и T — линейные размеры (*мм*). Приборная реализация метода представлена на рис. 29.

Все сказанное о погрешностях измерения методом наложения относится и к этому случаю. Для повышения точности измерения, а также при измерении небольших величин φ (менее 2°) можно

а)



б)

Рис. 28. Измерение фазового сдвига путем преобразования его во временной интервал.

применить ждущую развертку, растянув отрезок *а* почти на весь диаметр экрана ЭЛТ. Однако в этом случае должна быть известна длительность прямого хода ждущей развертки $T_р$ (на рис. 5,*г* ему соответствует интервал $T'_{р3}$), который не должен выходить за пределы диаметра трубки. В этом случае

$$\varphi = \frac{T_р}{T}\,\frac{a}{A}\,360° = T_р f\,\frac{a}{A}\,360°,$$

где $T_р$ — временна́я протяженность прямого хода ждущей развертки, *сек*;

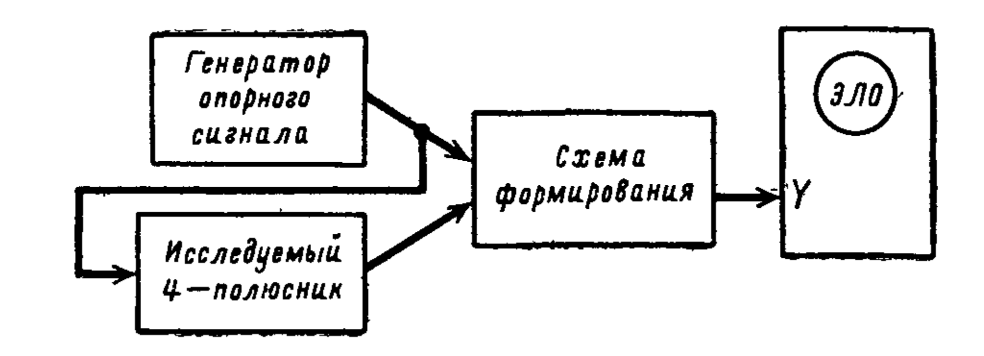
T — временна́я протяженность периода сигнала u_1, *сек* (или его частота, *гц*);

a — линейный размер фазового сдвига, *мм*;

A — линейный размер прямого хода ждущей развертки $T_р$, *мм*.

Длину развертки можно увеличить, если помимо перечисленной аппаратуры использовать фазорасщепитель, дающий сдвиг по фазе на 90° на частоте, на которой ведутся измерения (рис. 30).

С помощью фазорасщепителя на экране ЭЛТ получают круговую развертку. Затем это же напряжение подают на исследуемый четырехполюсник и схему формирования (рис. 28), выходной сиг-



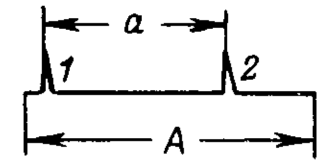


Рис. 29. Блок-схема измерения фазового сдвига путем преобразования его во временной интервал.

нал которой поступает на модулятор ЭЛТ. Поскольку развертка круговая, то интервал *а* между импульсами *1* и *2* (рис. 28,*а*, диаграмма *б*), будет растянут значительно больше, чем при линейной развертке, чем и обеспечивается бо́льшая точность измерения (рис. 30,*б*). Если изготовить прозрачную градусную шкалу и разместить ее перед экраном ЭЛТ, то получится фазометр с непосредственным отсчетом. Перед началом измерения нужно подать напряжение сигнала u_1 на схему формирования (сигнал u_2 не подается) и с полученной на ЭЛТ одной меткой совместить нуль шкалы отсчета фазы (точка *1* на рис. 30,*б*). Как и в предыдущих случаях, лучше применять ЭЛО с ЭЛТ большего диаметра и хорошей фокусировкой луча.

Применяя круговую развертку и упростив схему формирования, можно измерять фазовый сдвиг по-другому [Л. 2]. В этом случае схема формирования, состоящая из одного усилителя-ограничителя, должна вырабатывать лишь те сигналы, которые изображены на рис. 28,*а* (диаграммы *1—4*). Блок-схема измерения соответствует рис. 30, с той лишь разницей, что сигналы u_1 и u_2 подаются через двухполюсный переключатель поочередно на один вход схемы формирования.

Методика измерения состоит в следующем. Сначала получают круговую развертку, а затем на схему формирования подают сигнал u_1, получая на ее выходе напряжение прямоугольной формы (диаграмма *3*), которое поступает на модулятор ЭЛТ Амплитуда этого напряжения должна быть такой, чтобы в течение отрицатель-

ного полупериода обеспечить запирание луча В результате на экране ЭЛТ получается светящаяся полуокружность, с диаметром которой нужно совместить начало отсчета градусной шкалы. Отключив сигнал u_1 от схемы формирования, подают на нее сигнал u_2. Поскольку это напряжение сдвинуто по фазе относительно опорного (диаграмма *4*), то на экране ЭЛТ получается полуокружность, повернутая относительно исходной на угол φ (рис. 30,*в*). Определив его величину по градусной шкале, получают результат измерения.

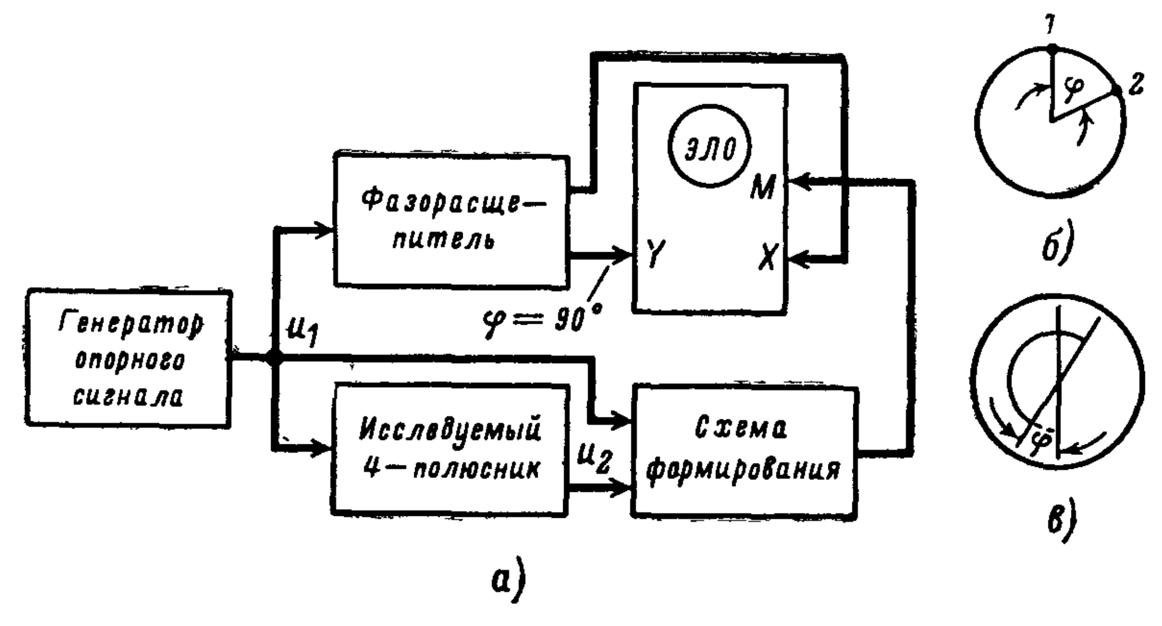


Рис. 30. Блок-схема измерения фазового сдвига при помощи круговой развертки.

Выше были рассмотрены методы измерения фазовых сдвигов Теперь остановимся на методике получения фазовой характеристики исследуемого устройства, т. е. зависимости фазового сдвига от частоты любым из описанных методов. Прежде чем собирать какую-либо измерительную схему, нужно знать, в каком диапазоне частот будет сниматься характеристика, т. е. знать полосу пропускания исследуемого четырехполюсника, а также выбрать такой уровень опорного сигнала, чтобы четырехполюсник не вносил нелинейных искажений сигнала. Зная эти параметры, собирают соответствующую схему измерения и, убедившись в ее работоспособности, снимают фазовую характеристику, не забывая в каждой точке измерения находить собственный фазовый сдвиг каналов ЭЛО. Следует также иметь в виду, что форму круговой развертки на ЭЛТ можно поддерживать регулировкой усиления в каналах ЭЛО, т. е. не обязательно менять величины элементов фазосдвигающей цепи для каждой частоты измерения.

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ, ТОКА И МОЩНОСТИ

При отсутствии калибратора напряжения ЭЛО можно использовать в качестве вольтметра, если откалибровать его масштабную сетку и измерять с ее помощью любое мгновенное значение напряжения [Л. 4]. Блок-схема калибровки приведена на рис. 31. В качестве гармонического сигнала можно использовать плавно регулируемое напряжение сети или напряжение звукового генератора. Электронным вольтметром может быть любой ламповый вольтметр; лучше воспользоваться прибором типа В3-2А, который имеет широкий диапазон измерения напряжений.

Установив в какое-либо определенное положение потенциометр регулировки усиления канала *Y*, на вход ЭЛО от генератора подают напряжение, которое отклонит луч на одну клетку масштабной сетки вверх и вниз от центра (всего на две клетки). Измерив величину этого напряжения вольтметром, изменяют сигнал генератора настолько, чтобы луч отклонился вверх и вниз на две клетки (всего на четыре), снова отмечают величину соответствующего напряжения, и т. д. Такую градуировку следует делать примерно

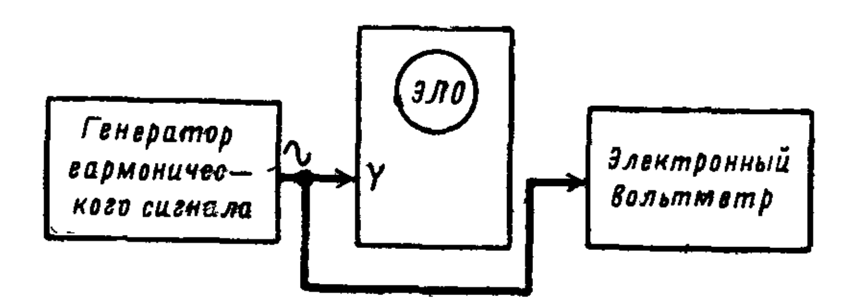


Рис 31. Блок-схема калибровки масштабной сетки ЭЛТ.

в пределах 3/4 диаметра ЭЛТ. Полученные данные наносят на масштабную сетку или составляют график зависимости величины отклонения луча (в одну сторону) от измеренного напряжения.

Важно обратить внимание на следующие особенности. Перед началом измерения луч ЭЛТ должен быть хорошо сфокусирован и находиться в центре экрана. Не следует забывать, что на экране ЭЛТ видна двойная амплитуда, а показания вольтметра соответствуют отклонению луча лишь в одну сторону от центра. При калибровке развертку ЭЛО можно и не включать. Поскольку шкалы индикаторов вольтметров обычно градуируют в действующих значениях, а в дальнейшем предполагается измерять мгновенные или амплитудные значения напряжения, то подготовляемую сетку (график) следует сразу же пересчитать в амплитудные значения. Если необходимо измерять напряжение синусоидальной формы, то калибровку можно оставить в действующих значениях, но отсчеты по сетке снимать лишь те, которые соответствуют одинарной амплитуде измеряемого напряжения.

Ошибка измерения в этом случае определяется погрешностью самого вольтметра (около ±3%), точностью определения линейных размеров осциллограммы и диаметром луча ЭЛТ. Таким образом, общая погрешность измерения напряжений может достигнуть величины порядка ±7%. Особое внимание следует обратить на фиксацию положения масштабной сетки — это относится ко всем случаям ее применения.

Такие графики изготовляются для нескольких определенных значений усиления канала *Y*. Аналогичным же образом изготовляют сетку (график) и для измерения напряжений, подаваемых на пластины ЭЛТ непосредственно.

Для измерения пикового значения напряжения импульсной формы с высокой точностью (порядка долей процента) применяют компенсационный метод (рис. 32). Поскольку измеряемое и компенсирующее напряжения должны подаваться на пластины ЭЛТ непосредственно (минуя усилитель), то, очевидно, измерять этим способом можно напряжения порядка сотен вольт.

Отключив источник постоянного напряжения (ИПН) и заземлив верхнюю пластину ЭЛТ ($П_1$ в положении 2), устанавливают луч в каком-либо определенном положении (например, в центре экрана — точка O). Затем на эту пластину подают измеряемое импульсное напряжение ($П_1$ в положении 1) Поскольку импульс имеет положительную полярность, то под его воздействием луч отклонится вверх на некоторую высоту. Затем к той же пластине подключают

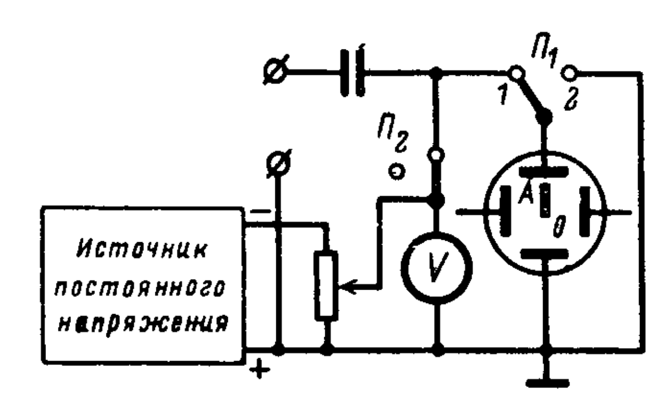


Рис. 32. Измерение напряжения методом компенсации.

ИПН. Так как его напряжение отрицательно, то оно будет стремиться отклонить луч вниз, т. е. компенсировать смещение, вызванное измеряемым напряжением. Регулируя величину напряжения ИПН, совмещают верхний конец импульса (точка A) с исходной точкой O. Величину этого напряжения отсчитывают по шкале вольтметра постоянного напряжения высокой точности. Так же измеряют амплитуду импульсов отрицательной полярности: надо лишь изменить полярность напряжений ИПН и вольтметра. При этих измерениях напряжение развертки на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ можно не подавать. Этим же способом можно измерить и синусоидальное напряжение. Для этого надо установить луч ЭЛТ по масштабной сетке в центре экрана; компенсирующее напряжение должно быть равно амплитуде измеряемого напряжения; смещать осциллограмму можно в любую сторону, т. е. полярность ИПН не важна.

Достоинства этого метода в том, что по нему можно измерять напряжения колебаний таких частот, на которых вольтметры уже не работают.

С помощью осциллографа можно измерять и ток.

Рассмотрим такой пример [Л. 4]. В каскаде усилителя низкой частоты надо определить величину анодного тока и найти зависимость его изменения во времени $i_a=f(t)$ при подаче на вход каскада переменного напряжения. Для этого в анодную цепь лампы (рис. 33) включают дополнительный резистор R_4, величина которого должна быть выбрана значительно меньше резистора R_3, чтобы, не нарушая работы схемы, уменьшить шунтирующее влияние ЭЛО.

Например, если резистор R_4 будет в 100 раз меньше резистора R_3, то погрешность измерения тока не превысит 1%. Постоянную составляющую анодного тока находят по закону Ома в отсутствие переменного напряжения на входе (при открытой схеме входа ЭЛО). Для получения зависимости $i_a=f(t)$ получают осциллограмму сигнала и, измерив мгновенные значения напряжения в нескольких точках вдоль линии развертки, рассчитывают ток, после чего строят график зависимости $i_a=f(t)$.

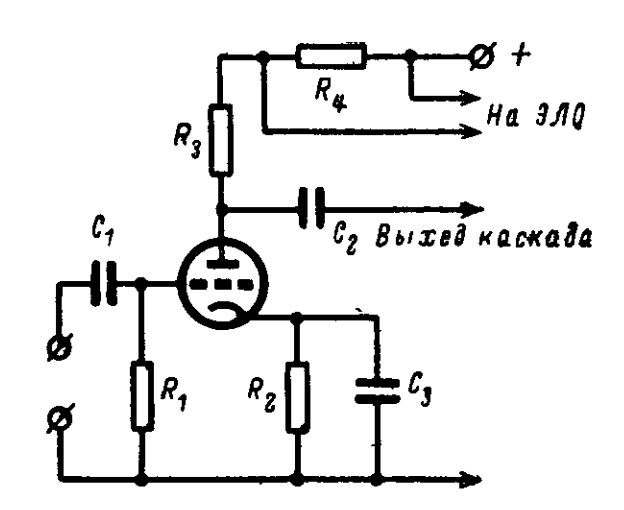


Рис. 33. Измерение тока при помощи ЭЛО.

По этому же методу можно измерять и мощность, вычисляя ее по формуле

$$P=\frac{U^2}{R_4}=I^2R_4=IU.$$

Можно использовать другой способ (рис. 34,*а* [Л. 3]). Надо измерить мощность, потребляемую каким-либо полным сопротивлением Z с реактивной составляющей, имеющей индуктивный характер. В этом случае последовательно с сопротивлением Z включают конденсатор C и на составленную из Z и C цепочку подают переменное напряжение. Величину C выбирают такой, чтобы на данной частоте ее реактивное сопротивление X_c было меньше Z. На вход Y ЭЛО подают напряжение с исследуемого сопротивления Z, на вход X — со вспомогательного конденсатора C. На экране ЭЛТ получают осциллограмму в виде фигуры, показанной на рис. 34,*б*. Искомую мощность, выделяющуюся на сопротивлении Z, находят из соотношения

$$P=SCf,$$

где f — частота подводимого напряжения, S — площадь осциллограммы.

Для облегчения расчетов рекомендуется предварительно вычислить коэффициент пропорциональности $k=Cf$. Для этого вместо исследуемого сопротивления Z включают резистор R, соизмеримый с Z, и, измерив с помощью ЭЛО падение напряжения на нем (вер-

тикальный размер фигуры), вычисляют мощность P_0. Очевидно, эта мощность пропорциональна площади S_0.

$$P_0 = kS_0,$$

где S_0 — площадь фигуры на ЭЛТ, полученная при подключении резистора R.

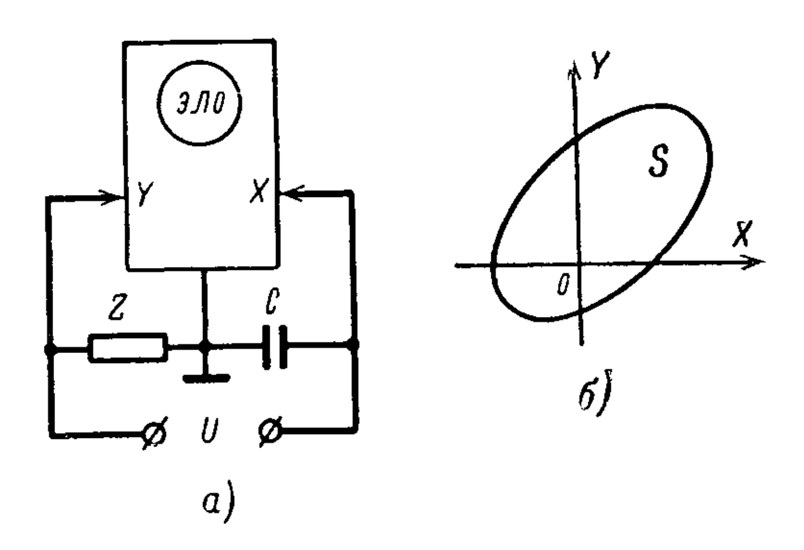


Рис 34. Измерение мощности при помощи ЭЛО.

Затем находят

$$k = \frac{P_0}{S_0}.$$

После этого, не меняя положения органов регулировки усиления обоих каналов ЭЛО, включают исследуемое сопротивление Z, вычисляют площадь фигуры S (проще всего это сделать по миллиметровке, перенося на нее фигуру) и определяют искомую мощность P. Например, при известной величине резистора R мощность $P_0 = 700$ *мвт*, а площадь $S_0 = 14$ *см*². Коэффициент $k = 700 : 14 = 50$ *мвт/см*², $S = 11{,}2$ *см*². Мощность, выделяющаяся на сопротивлении Z:

$$P = kS = 50 \cdot 11{,}2 = 560 \text{ мвт}.$$

Этот способ следует применять, если цепочку питают напряжением несинусоидальной формы, при высоких частотах питающего сигнала и маломощных источниках напряжения. Погрешность измерения мощности зависит от точности определения коэффициента k, правильности подсчета площади осциллограммы и различия фазовых характеристик усилителей обоих каналов.

ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УЗЛОВ И ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИОСХЕМ

ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОСХЕМ

Для наблюдения амплитудио-частотных характеристик различных радиоустройств применяют специальные приборы — измерители частотных характеристик (например, типов Х1-1, Х1-2, Х1-4 и т. п.). Если такой аппаратуры нет, то можно воспользоваться следующим методом.

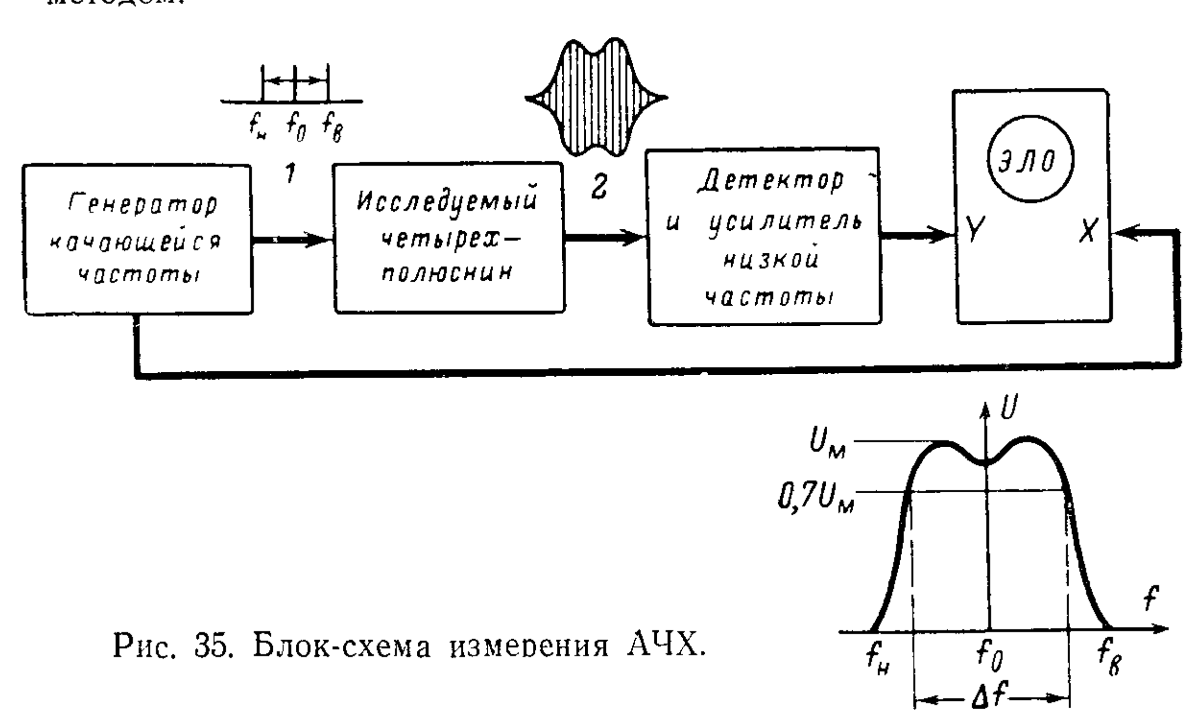


Рис. 35. Блок-схема измерения АЧХ.

АЧХ *резонансной колебательной системы* можно снять, используя блок-схему, состоящую из генератора качающейся частоты (ГКЧ), детектора с низкочастотным усилителем и ЭЛО (рис. 35).

ГКЧ — это высокочастотный генератор частотно-модулированных гармонических колебаний (свип-генератор); его частота под воздействием модулирующего сигнала перемещается по оси частот в пределах от некоторого минимального $f_н$ до некоторого максимального значения $f_в$. Кроме этого, средняя частота f_0 должна перестраиваться в довольно широком диапазоне. Например, для получения АЧХ УПЧ, настроенного на частоту $f_р = 465$ *кгц*, полоса пропускания которого $\Delta f = 10$ *кгц*, необходимо, чтобы основная частота ГКЧ равнялась $f_р$, $f_н = 450$ *кгц*, $f_в = 480$ *кгц*. Таким образом, диапазон перемещения частоты f_0 (диапазон качания, или девиация частоты) составляет ± 15 *кгц*. Частота этого перемещения может быть небольшой: порядка 50—1 000 *гц*. Обычно максимальная величина девиации в ГКЧ составляет $\pm(10 \div 20\%)$ от f_0. Более точные сведеиия о ГКЧ можио найти в [Л. 3, 9].

Сигнал, пройдя через четырехполюсник, прииимает форму, соответствующую его АЧХ, т. е. высокочастотный сигнал будет промо-

дулирован по амплитуде. Огибающая этого сигнала выделяется детектором. В тех случаях, когда f_0 укладывается в полосу пропускания канала вертикального отклонения ЭЛО, детектор можно и не применять, так как на экране ЭЛТ получится сигнал, соответствующий временной диаграмме *2* рис. 35. Усилитель также не нужен, если с четырехполюсника снимается сигнал достаточной амплитуды. Тем не менее детектор и усилитель дают осциллограмму АЧХ более высокого качества.

ЭЛО синхронизируется частотой, с которой происходит перемещение f_0 ГКЧ, при этом каждый прямой ход развертки ЭЛО будет происходить с той же скоростью, с какой перемещается частота f_0 от $f_н$ до $f_в$, т. е. горизонтальная ось становится осью частот.

Предположим, что нужно настроить УПЧ на частоту 465 *кгц*. Для этого необходимо установить ГКЧ на $f_0=465$ *кгц* при девиации частоты $\pm5\%$ (±23 *кгц*). Поскольку девиация частоты составляет ±23 *кгц* и изменяется линейно, то на получаемой осциллограмме по оси частот частотный диапазон составит 46 *кгц*. Полосу пропускания четырехполюсника определяют, наложив на ЭЛТ масштабную сетку и определив цену ее горизонтального деления. Проделав это, оценивают ширину полосы пропускания на уровне 0,7 от максимального значения. Откалибровав ту же сетку в единицах напряжения и зная величины выходного напряжения ГКЧ и коэффициент усиления УНЧ, можно ориентировочно определить и коэффициент усиления исследуемого четырехполюсника.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ ПРИ ПОМОЩИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СИГНАЛА

Если сигнал имеет спектр более широкий, чем полоса пропускания четырехполюсника, то форма сигнала на его выходе будет отличаться от первоначальной. Для оценки частотных свойств четырехполюсника используют измерительный импульсный генератор (ИИГ) напряжения прямоугольной формы с регулируемой частотой следования. Такие импульсы применяют потому, что их спектр содержит много гармонических составляющих.

Важным следствием использования прямоугольного импульсного сигнала является то, что если через четырехполюсник этот сигнал проходит удовлетворительно, то сигналы другой формы исказятся меньше, поскольку их спектр уже.

Электрическая схема четырехполюсника обычно содержит большое количество цепочек *RC*, соединенных в различных комбинациях, которые ограничивают спектр сигнала. Эти цепочки могут быть сведены к двум основным схемам: фильтр высоких частот (ФВЧ) или дифференцирующая цепь (рис. 36,*а—1*) и фильтр низких частот (ФНЧ) или интегрирующая цепь (рис. 36,*б — 1*).

Пусть исследуется какой-либо усилитель, АЧХ которого не известна. Нужно оценить ее лишь качественно, а так же иметь представление о фазовых искажениях. Для этого собирают блок-схему, состоящую из последовательно включенных ИИГ, испытуемого усилителя и ЭЛО (выходной сигнал усилителя подают на вход *Y*). По осциллограмме выходного сигнала можно судить об АЧХ и ФЧХ усилителя [Л. 4, 10]. На рис. 37 приведены несколько типичных осциллограмм, вид которых свидетельствует о следующем: (*а*) форма сигнала на входе усилителя; (*б*) фазовая характеристика усилителя

такова, что в области низких частот составляющие спектра испытательного сигнала получают положительный фазовый сдвиг: (*в*) фазовая характеристика усилителя такова, что в области низких частот составляющие спектра испытательного сигнала получают отрицательный фазовый сдвиг; (*г*) постоянная времени разделитель-

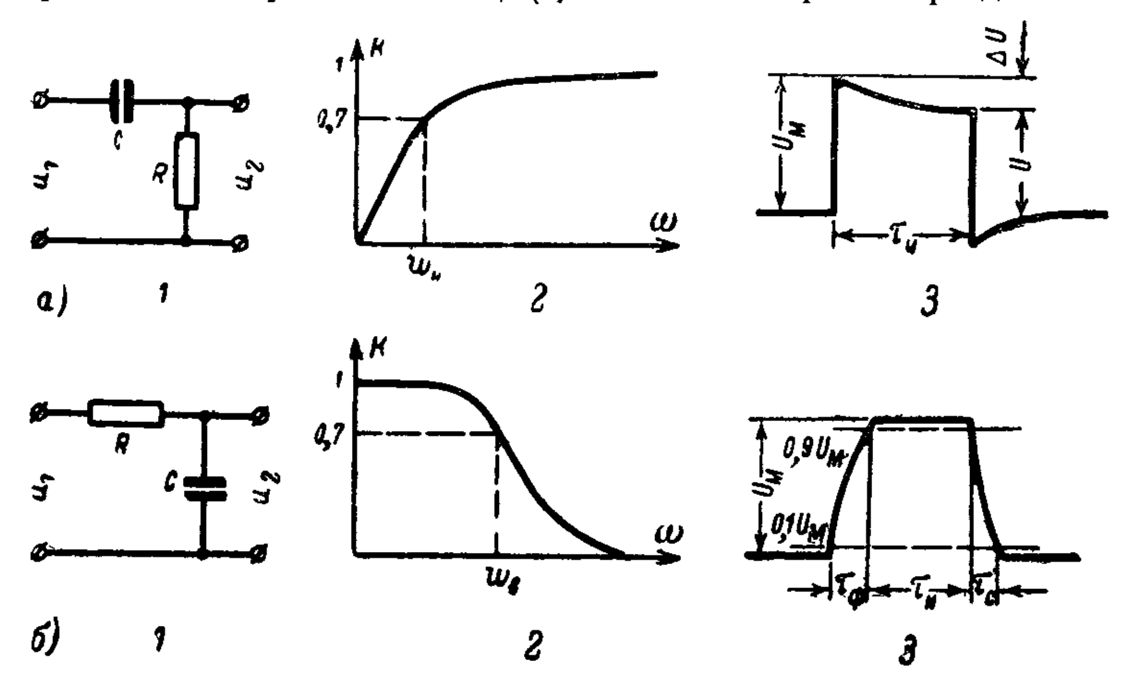


Рис. 36. Электрические схемы четырехполюсников, их АЧХ и обусловленные ими искажения сигналов.

ной цепи *RC* между каскадами усилителя мала и испытательный сигнал дифференцируется; (*д*) постоянная времени цепи *RC* между каскадами усилителя велика и испытательный сигнал интегрируется; (*е*) АЧХ имеет сильный завал в области низких частот; фазовая

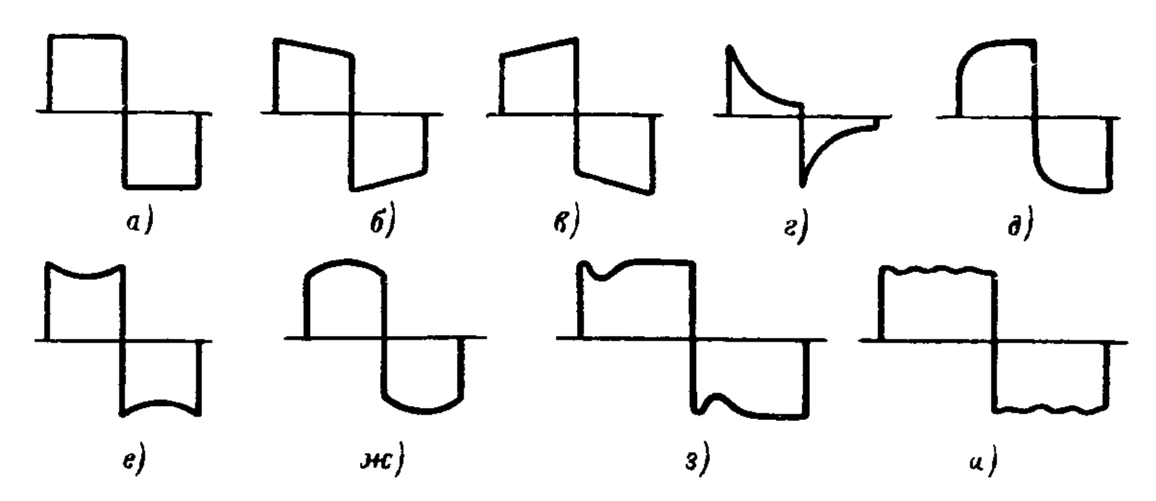


Рис. 37. Качественное определение АЧХ и ФЧХ по осциллограммам

характеристика линейна; (*ж*) АЧХ сильно приподнята в области низких частот; фазовая характеристика линейна; (*з*) коэффициент усиления не постоянен; на узком участке полосы пропускания он снижается; (*и*) усилитель кроме частот, лежащих в основной полосе пропускания усиливает другие составляющие спектра испытательного сигнала в узких областях, лежащих вне АЧХ

Эти осциллограммы удобно наблюдать, сравнивая их с испытательным сигналом, для чего можно воспользоваться электронным коммутатором или двухлучевым ЭЛО.

Амплитуда импульса ИИГ должна быть такой, чтобы он в четырехполюснике не ограничивался. Частоту следования импульсов нужно выбирать, исходя из назначения четырехполюсника: основная частота и ее высшие гармоники (примерно до 15—20) должны уложиться в полосу пропускания испытуемого устройства. Так, например, для низкочастотных усилителей с полосой пропускания 50 *гц*—10 *кгц* частоту следования импульсов можно взять $f_1=50$ *гц* и $f_2=800$—1 000 *гц*; для видеоусилителей с полосой 50 *гц* — 3 *Мгц* $f_1=50$ *гц* и $f_2=100$—200 *кгц*. Если нет импульсного генератора с такой частотой следования, то можно воспользоваться другим импульсным генератором, подавая от него на четырехполюсник импульс небольшой длительности ($\tau_и$ — порядка 1÷5 *мксек*) с заданной длительностью фронта $\tau_ф$ и произвольной частотой следования. В таком случае верхняя граничная частота полосы пропускания четырехполюсника

$$f_в=\frac{2,2}{2\pi\tau_ф}=\frac{0,35}{\tau_ф}.$$

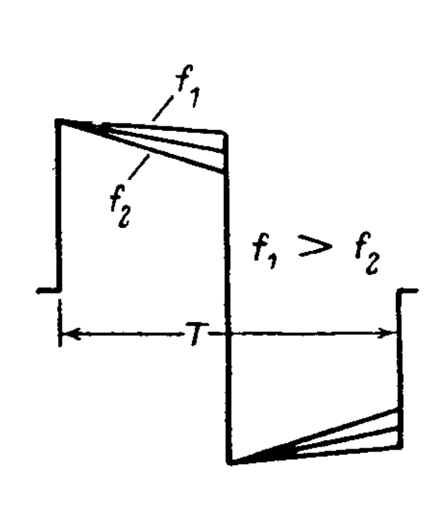


Рис. 38. Подбор заданного значения спада вершины импульса изменением частоты следования сигнала.

Чтобы применять прямоугольное напряжение, важно знать искажения, вносимые усилителем вертикального отклонения ЭЛО. Для их оценки надо подать сигнал ИИГ на ЭЛО непосредственно и сравнить этот сигнал с выходным сигналом четырехполюсника. Если ЭЛО дает небольшие амплитудные и фазовые искажения (порядка 5%), то истинные величины искажений, вносимые испытуемым устройством, равны разности общих искажений сигнала и искажений за счет ЭЛО. Например, наблюдаемый на экране ЭЛТ импульс имеет спад вершины $\Delta U=20\%$, причем спад, обусловленный самим ИИГ, составляет 3%, спад за счет ЭЛО 5%. Тогда спад вершины импульса из-за самого четырехполюсника составит 12%. Искажения, вносимые ЭЛО, тем меньше, чем шире полоса пропускания канала Y.

Измерение ΔU выходного сигнала четырехполюсника можно сделать в долях периода (частоты следования) сигнала ИИГ. Можно подобрать такой период следования импульсного сигнала, чтобы спад ΔU составлял любую заданную величину. Для этого изменяют частоту следования импульсов до тех пор (рис. 38), пока не получится требуемая величина ΔU. В этом случае $T=1/f_0$, где f_0—частота следования. При такой методике измерения частоту развертывающего напряжения ЭЛО синхронизируют так, чтобы на экране ЭЛТ укладывалось о д н о и т о ж е ч и с л о п е р и о д о в независимо от частоты следования импульсов.

Аналогично может быть найден и фронт импульса $\tau_ф$. Например, при частоте следования импульсов f_0 ИИГ получена осциллограмма (рис. 39,*а*) и нужно найти $\tau_ф$. Частоту следования импульсов повышают до f_1, при которой получается осциллограмма импульса (рис. 39,*б*), с амплитудой $0,9U_М$. После этого продолжают повышать частоту до f_2, при которой получится осциллограмма им-

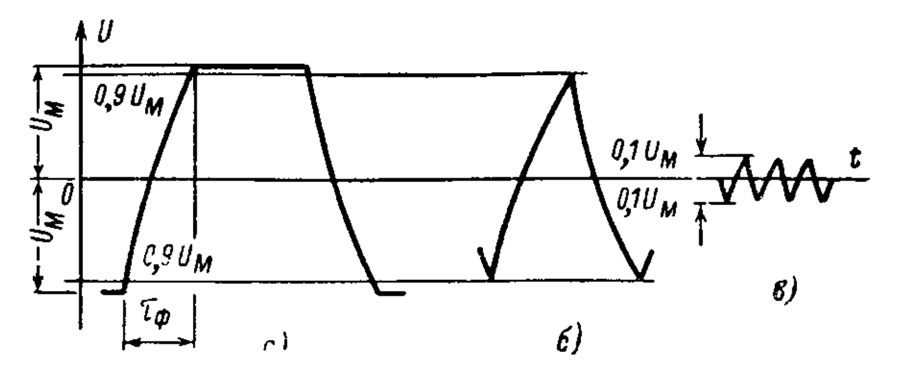


Рис. 39. Определение длительности фронта путем изменения частоты следования сигнала.

пульса (рис. 39,*в*) с амплитудой $0,1U_М$. Нетрудно подсчитать:

$$\tau_ф=\frac{1}{2f_1}-\frac{1}{2f_2}.$$

ПОЛУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП И ТРАНЗИСТОРОВ

При расчете и конструировании радиоэлектронных схем зачастую необходимо знать не усредненную характеристику электронной лампы или полупроводникового прибора, приведенную в справочнике, а ту, которую они имеют при определенном режиме схемы. Такую характеристику можно получить при помощи ЭЛО.

Наиболее типичными характеристиками электронных ламп являются анодно-сеточная характеристика $i_а=f(u_с)$ при $u_а=\text{const}$ и анодная $i_а=f(u_а)$ при $u_с=\text{const}$. Так как эти характеристики являются функциями о д н о й переменной ($u_с$ или $u_а$), то они легко могут быть получены на экране ЭЛТ с помощью простой схемы (рис. 40,*а*). Если, например, нужно снять анодно-сеточную характеристику, то на сетку подают постоянное смещение $E_с$ и последовательно с ним включают источник периодического переменного напряжения регулируемой амплитуды, которое будет изменять $u_с$ в заданных пределах. Анодное напряжение $E_а$ устанавливают таким, каким оно должно быть в исследуемом режиме. Периодическое изменение величины $u_с$ с частотой, превышающей 20 *гц*, даст возможность наблюдать неподвижную осциллограмму этой характеристики на экране ЭЛТ, так как величина горизонтального отклонения луча пропорциональна изменению напряжения на сетке, а вертикального — анодному току лампы. Таким периодическим напряжением может быть сигнал синусоидальный, импульсный или пилообразный (рис. 40,*б*). Если же надо получить анодную характеристику, то источник переменного напряжения включают в анодную цепь лампы последовательно с $E_а$.

Применение ЭЛО не только ускоряет снятие характеристик ламп в рабочих режимах, но и позволяет получить данные для та-

ких комбинаций напряжений на электродах лампы, которые привели бы к повреждению лампы даже при кратковременных измерениях по другому методу. Например, описанная схема дает возможность довольно просто снять характеристики в области положительных напряжений на сетке, где большое рассеяние мощности не позволяет проводить статических измерений. Наиболее часто в качестве источника переменного напряжения применяют генератор развертки ЭЛО. Описанный метод применим и для снятия характеристик полупроводниковых приборов.

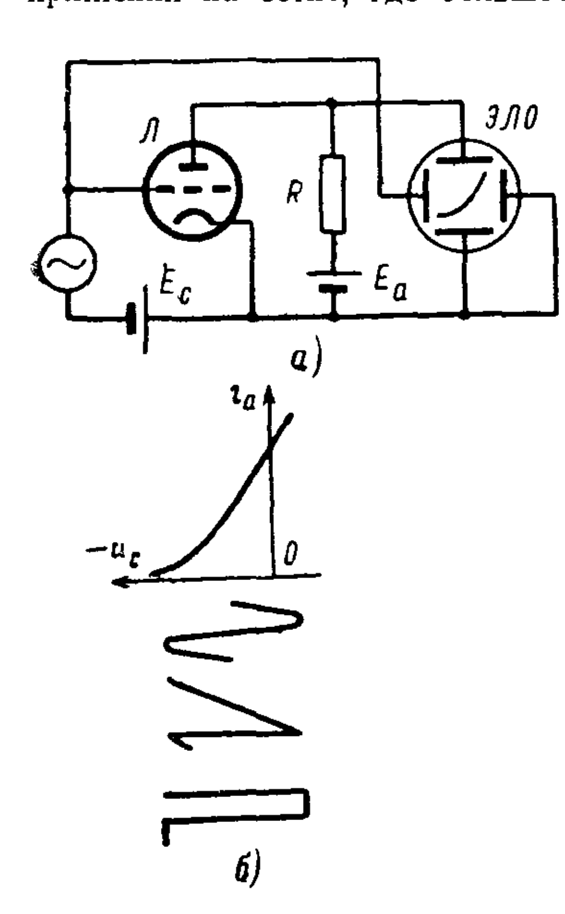


Рис. 40. Схема для получения характеристики электронной лампы.

На рис. 41,*а* представлена схема [Л. 1], с помощью которой могут быть получены входные характеристики $U_б=f(I_б)$ при $E_к=$ $=$const и характеристики прямой передачи по току $I_к=f(I_б)$ при $E_к=$const для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером. В этой схеме величины резисторов R_0 и $R_к$ значительно меньше сопротивлений соответствующих переходов испытуемого транзистора. При снятии обеих характеристик напряжение горизонтальной развертки снимается с резистора R_0. Оно создается током базы $I_б$, вследствие чего величина горизонтального отклонения пропорциональна $I_б$. При установке переключателя *П* в положение *1* на вход *Y* ЭЛО поступает напряжение базы $U_б$, снимаемое с точек *Б* и *Э*. В положении *2* переключателя на вход *Y* подается напряжение, создаваемое током коллектора $I_к$ на резисторе $R_к$. Устанавливая различные значения $E_к$, можно получать разные характеристики.

Схема (рис. 41,*б*) позволяет снимать выходные характеристики транзистора $I_к=f(U_к)$ при $I_э=$const, включенного по схеме с общей базой. Диод в этой схеме ограничивает ток коллектора, если переменное напряжение действует на коллектор в прямом направлении. Характеристики можно снимать при различных значениях тока эмиттера. В случае, если $I_э=0$, то $I_к=I_{к0}$, и получается характеристика начального (неуправляемого) тока коллектора, который сильно зависит от температуры. Аналогично может быть построена и схема для снятия выходной характеристики транзистора при включении его по схеме с общим эмиттером.

При помощи ЭЛО возможно также определить в р е м я з а п а з д ы в а н и я — время, необходимое для рассасывания неосновных носителей зарядов. Этот параметр необходимо знать при выборе транзисторов для работы в быстродействующих переключающих устройствах. Схема измерительного стенда приведена на рис. 42,*а*. На базу транзистора от ИИГ подается отрицательный

импульс $\tau_и$ длительностью порядка 5—10 *мксек* с большой скважностью ($T_и \gg \tau_и$) и амплитудой в несколько д е с я т ы х д о л е й вольта. Измерив с помощью ЭЛО длительность импульса $\tau'_и$ на выходе транзистора (на определенном уровне) и сравнив ее с импульсом $\tau_и$, находят время запаздывания $\tau_з$ (рис. 42,*б*).

На этой же установке можно получить переходную характеристику транзистора. На испытуемый транзистор подают сигнал большой скважности и амплитудой в несколько с о т ы х д о л е й вольта. На выходе получается импульс с относительно большим фронтом $\tau_ф$, протяженность которого характеризует возможность применения транзистора в импульсных схемах: чем больше $\tau_ф$, тем менее желательно его применение в быстродействующих устройствах.

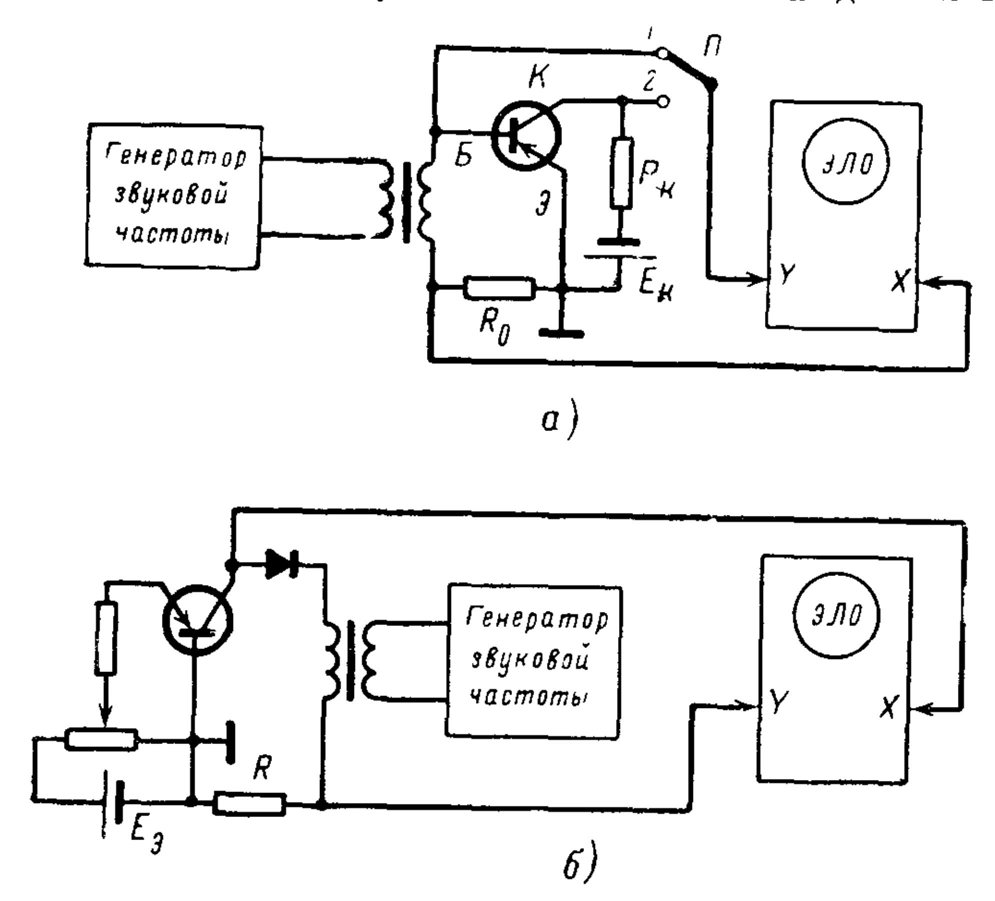


Рис. 41. Схемы для снятия характеристик транзисторов.

До сих пор мы говорили об одиночных характеристиках. Однако при помощи х а р а к т е р и о г р а ф а — ЭЛО и относительно простой аппаратуры (рис. 43) на экране ЭЛТ можно получить семейство характеристик электронных ламп или полупроводниковых приборов.

Для этого надо снять одну зависимость при каком-то постоянном параметре, затем этот параметр изменить и вновь снять ту же зависимость, и т. д. Таким образом, для получения семейства характеристик необходимо устройство, которое изменяло бы определенный независимый параметр дискретно с частотой более 20 *гц*. Например, для получения семейства анодно-сеточных характеристик при изменении анодного напряжения u_a от 60 до 240 *в* через 60 *в* нужна схема, дискретно повышающая анодное напряжение ступенями на

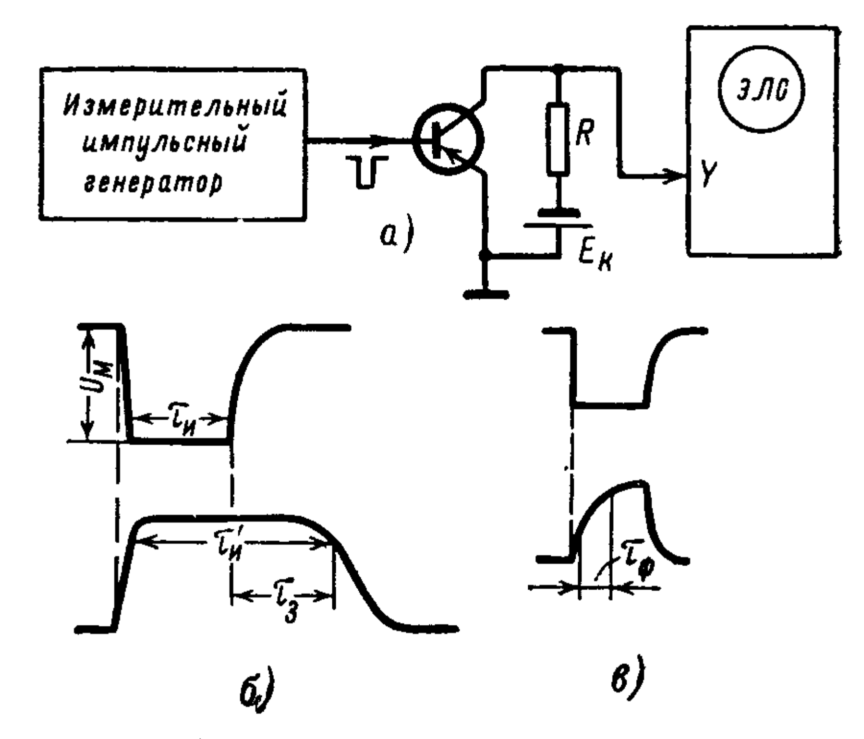


Рис. 42. Схема для определения времени запаздывания.

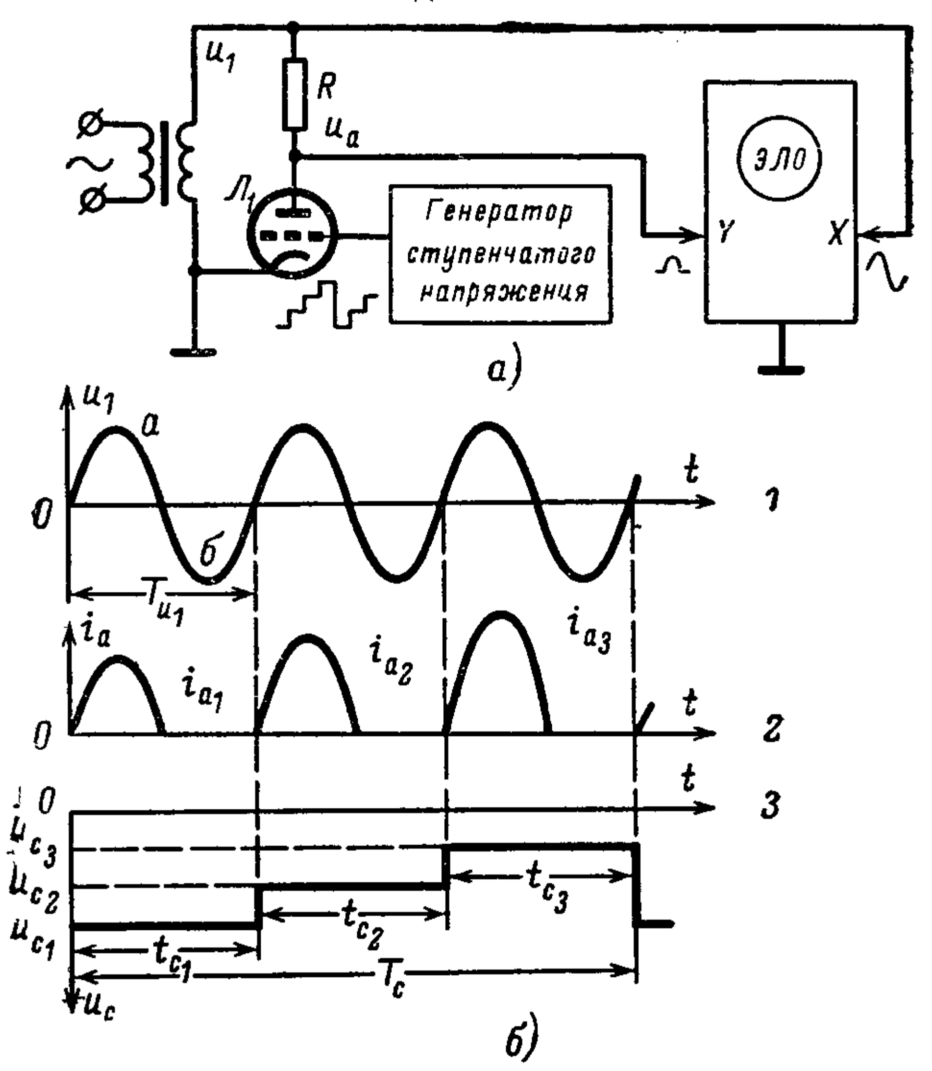


Рис. 43. Схема для снятия семейства характеристик.

60 *в*, т. е. задающая значения $u_а$=60, 120, 180, 240, 60 *в* с частотой более 20 *гц*. В этом случае получится неподвижная осциллограмма семейства анодно-сеточных характеристик, состоящего из четырех отдельных зависимостей. Устройство, обеспечивающее дискретное изменение режима питания испытуемого прибора, представляет собой генератор ступенчатого напряжения, число и уровни ступеней которого можно регулировать и устанавливать в зависимости от вида снимаемой характеристики.

Рассмотрим работу характериографа при снятии семейства анодных характеристик. В анодную цепь лампы $Л_1$ и на вход X ЭЛО подают гармонический сигнал низкой частоты u_1, например, от сети (рис. 43,*б—1*), под действием которого в течение первого периода T_{u1} в анодной цепи течет ток $i_{a1}=f(u_1)$ при u_{c1}=const (рис. 43,*б—2*). Величина резистора R в анодной цепи лампы невелика, поэтому $u_а=u_1$, т. е. $i_{a1}=f(u_a)$. В результате на экране ЭЛТ за первый период сигнала u_1 получается одна анодная характеристика.

Для получения семейства характеристик сеточное смещение лампы $Л_1$ периодически ступенчато изменяют так, чтобы $T_c=nT_{u1}$, где n=1, 2, 3 ... (рис. 43,*б—3*). В данном случае таких ступеней три (n=3), но их количество может достигать 10—12. За второй период сигнала смещение становится равным u_{c2} и за третий — u_{c3}, в результате чего получается семейство из трех характеристик. Более подробно со схемой генератора ступенчатого напряжения можно ознакомиться в [Л. 3].

Для улучшения качества осциллограммы на участке *а — б* каждого периода напряжения u_1 особый узел характериографа гасит луч ЭЛТ, что дает возможность наблюдать лишь ту часть процесса, которая соответствует нарастанию анодного тока. Если откалибровать масштабную сетку ЭЛТ, то можно получать числовые значения получаемых характеристик.

СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Большое распространение ЭЛО получил при исследовании характеристик ферромагнитных материалов. Он дает возможность наблюдать динамические характеристики в широком диапазоне частот и исследовать влияние на магнитные материалы различных факторов, как, например, подмагничивание постоянным током. Один из вариантов измерения заключается в воздействии на луч ЭЛТ электрического поля, изменяющегося в зависимости от магнитного поля [Л. 11].

Для измерения собирают схему (рис. 44) и на вход X ЭЛО подают напряжение, пропорциональное напряженности поля H, намагничивающего испытуемый кольцевой сердечник, а на вход Y — напряжение, пропорциональное магнитной индукции B в материале.

Для получения сигнала u_H, пропорционального H, в обмотку намагничивания w_1 включен образцовый резистор r_0:

$$u_H = ir_0 = \frac{r_0 l_{ср} H}{w}; \quad l_{ср} = 2\pi R_{ср},$$

где w_1 — число витков обмотки намагничивания;
H — мгновенное значение поля намагничивания;
$R_{ср}$ — средний радиус испытуемого кольцевого сердечника.

Для получения сигнала u_B, пропорционального B, на выходе измерительной обмотки необходимо включить интегрирующую цепь rC. При условии $r \gg x_c$

$$u_B = -\frac{w_2 S B}{rC},$$

где w_2 — число витков измерительной обмотки;
S — поперечное сечение сердечника.

С помощью обмотки w_3 испытуемый сердечник подмагничивается постоянным током.

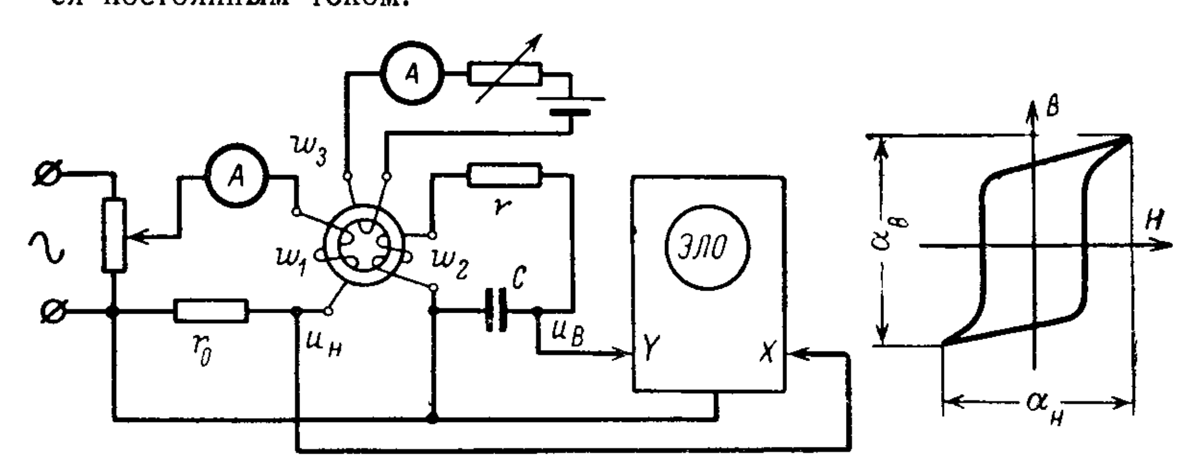


Рис. 44. Получение магнитных характеристик.

Для вычисления значений B и H нужно отградуировать масштабную сетку ЭЛО, для чего на входы Y и X поочередно подают синусоидальные колебания и подсчитывают масштабы m_y и m_x:

$$m_y = \frac{2\sqrt{2}\,U_y}{n_y}\ [в/мм],\ m_x = \frac{2\sqrt{2}U_x}{n_x}\ [в/мм],$$

где U_y и U_x — действующие значения напряжения колебания на входах Y и X соответственно, *в*;
n_y и n_x — размеры развертки по вертикали и горизонтали, соответствующие двойной амплитуде приложенного напряжения, *мм*.

Величины H и B можно подсчитать, если известны размеры осциллограммы α_H и α_B (α_H — размер по горизонтали, α_B — размер по вертикали):

$$H = \frac{m_x w_1}{r_0 l_{ср}} \alpha_H\ [а/мм];\ B = \frac{m_y rC}{w_2 S} \alpha_B\ [тл].$$

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Рассмотренные типы ЭЛО дают возможность исследовать один процесс; с помощью электронного коммутатора или многолучевого ЭЛО число наблюдаемых сигналов достигает 2—4. Но зачастую необходимо исследовать значительно большее число процессов одно-

временно, и хотя в радиолюбительской практике такая аппаратура не используется, общее представление о ней иметь следует.

Помимо электронных ЭЛО, принцип действия которых целиком основан на применении электровакуумных приборов и радиодеталей, существуют так называемые электромеханические (светолучевые или шлейфовые) осциллографы, работа которых основана на принципах электромеханики, в частности на работе электроизмерительного прибора магнитоэлектрической системы, в котором в качестве индикатора вместо стрелки служит маленькое зеркальце (рис. 45).

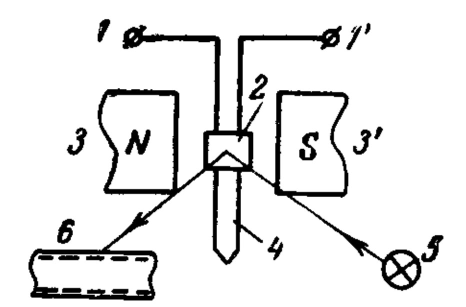


Рис. 45. К пояснению принципа работы электромеханического осциллографа.

1—1' — зажимы для подключения источника исследуемого сигнала; *2* — зеркальце; *3—3'* — полюсы магнита; *4* — вибратор (шлейф); *5* — источник света; *6* — фотопленка.

Под воздействием переменного тока исследуемого процесса зеркальце начнет колебаться с частотой исследуемого сигнала. От источника света на зеркальце падает очень узкий луч, отражающийся на движущуюся фотопленку, на которой фиксируется осциллограмма процесса. Для визуального наблюдения сигнала часть отраженного от зеркальца луча направляется на вращающуюся многогранную призму, отражаясь от которой, луч попадает на экран осциллографа (матовое стекло) [Л. 11].

Число одновременно регистрируемых процессов может достигать нескольких десятков (по числу используемых вибраторов), а диапазон исследуемых частот зависит от конструкции вибратора и скорости перемещения фотопленки, а также от числа оборотов призмы и лежит в пределах от нескольких герц до 10—12 *кгц*. Масштаб величин регистрируемой кривой зависит от чувствительности вибратора, масштаб времени определяется с помощью специального устройства, дающего временные отметки определенной протяженности, например 10 *мсек*. Диапазон регистрации токов лежит в пределах от единиц до нескольких сотен миллиампер в зависимости от используемого вибратора. Лентопротяжный механизм прибора может перемещать фотопленку со скоростью от 0,1 до 500 *см/сек*. Погрешность измерения составляет несколько процентов, основное назначение прибора — регистрация низкочастотных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ряде случаев ЭЛО используют не только как самостоятельный прибор, но и включают его как составную часть в более сложную измерительную аппаратуру. Примерами этого могут служить измерители частотных характеристик, анализаторы спектра, приборы для настройки телевизоров, характериографы, индикаторы нуля в мостовых схемах, индикаторы формы вырабатываемого сигнала в некоторых типах генераторов и т. п.

Как составная часть ЭЛО входит и в более сложные радиотехнические устройства и служит для контроля их работоспособности, для наблюдения за формой вырабатываемых сигналов и т. д. Примерами такого использования ЭЛО могут служить телеметрические системы, информационно-измерительные устройства, различные вычислительные установки.

Основные направления в развитии осциллографической аппаратуры следующие: расширение частотного диапазона канала вертикального отклонения и повышение частоты генераторов разверток, что дает возможность исследовать более высокочастотные сигналы: снижение погрешности калибраторов (до 1—2%) как путем улучшения схем, так и введением цифровой регистрации; автоматизация перестройки частоты генератора развертки и выбор пределов измерения; применение блочной конструкции ЭЛО, которая дает возможность значительно расширить его технические возможности; значительное внимание уделяется внешнему оформлению и удобству в эксплуатации и обслуживании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирский Г. Я., Радиоэлектронные измерения, М., Госэнергоиздат, 1963.
2. Ремез Г. А. Радиоизмерения, М., изд-во «Связь», 1966.
3. Полулях К. С., Электронные измерительные приборы, Харьков, изд-во Харьковского университета, 1963.
4 Корндорф С. Ф., и др., Сборник задач и упражнений по радиотехническим измерениям, М., Госэнергоиздат, 1962.
5 Соболевский А. Г., Электроннолучевой осциллограф, М., Госэнергоиздат, 1956.
6. Самойлов В. Ф. и др. Импульсная техника, М. изд-во «Связь», 1966.
7. Момот Е. Г., Радиотехнические измерения, М., Госэнергоиздат, 1957.
8. Вишенчук И. М., и др. Электромеханические и электронные фазометры, М., Госэнергоиздат, 1962.
9. Товбин М. Н., Генераторы качающейся частоты, М., ДОСААФ, 1956.
10 Термен Ф. и др., Измерительная техника в электронике, М., Изд-во иностр. лит. 1955.
11. Электрические измерения, под ред. А. В. Фремке, М., Госэнергоиздат, 1963.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Соловов Владимир Яковлевич

Осциллографические измерения

Редактор *З. С. Карамов*

Технический редактор *Г. Г. Самсонова*

Корректор *В. С. Антипова*

Сдано в набор 18/III 1968 г. Подписано к печати 8/VII 1968 г. Т-09826
Формат 84×108 1/32 Бумага типографская № 2
Усл печ. л. 2,93 Уч.-изд л. 3,4
Тираж 50 000 экз. Цена 14 коп. Зак. 1162
Издательство «Энергия», Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Шлюзовая наб. 10

Отпечатано в Московской типографии № 19 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
наб. Мориса Тореза, 34. Заказ 2184

Мне всегда нравились старые, сильно потрёпанные книжки. Потрёпанность книги говорит о её высокой востребованности, а старость о вечно ценном содержании. Всё сказанное в большей степени касается именно технической литературы. Только техническая литература содержит в себе ту великую и полезную информацию, которая не подвластна ни политическим веяниям, ни моде, ни настроениям! Только техническая литература требует от своего автора по истине великих усилий и знаний. Порой требуется опыт целой жизни, чтобы написать небольшую и внешне невзрачную книгу.

К сожалению ни что не вечно в этом мире, книги треплются, разваливаются на отдельные листы, которые затем рвутся в клочья и уходят в никуда. Плюс ко всему орды варваров, которым без разницы, что бросить в костёр или чем вытереть свой зад. Именно их мы можем благодарить за сожженные и растоптанные библиотеки.

Если у Вас есть старая книга или журнал, то не дайте им умереть, отсканируйте их и пришлите мне. Совместными усилиями мы можем создать по истине уникальное и ценное собрание старых технических книг и журналов.

Сайт старой технической литературы:

http://retrolib.narod.ru